AMTSBIBLIOTHEK
II b, 1082 | T. 11
J. 4° 1463
der Staatsbahndirektion Wien-Nordost.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1873

FRANCE

NOTICES

SUR

LES DESSINS, MODÈLES ET OUVRAGES

RÉUNIS PAR LES SOINS

DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

NOTICES

SUR

LES DESSINS, MODÈLES ET OUVRAGES

RELATIFS AUX TRAVAUX

DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

Amtsbibliothek der
Staatsbahndirektion Wien Nordost.

Übersetzung:

Notizen über Zeichnungen, Modelle und Arbeiten betreffend Brücken, Straßen und Bergwerke

Digitized by the Internet Archive
in 2018 with funding from
Getty Research Institute

https://archive.org/details/expositionuniver00fran_2

H. 52
T 11 — II b / 1082

EXPOSITION UNIVERSELLE À VIENNE

EN 1873

FRANCE

NOTICES

SUR

LES DESSINS, MODÈLES ET OUVRAGES

RELATIFS AUX TRAVAUX

DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

RÉUNIS

PAR LES SOINS DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCC LXXIII

Amtsbibliothek der
Staatsbahndirektion Wien Nordost.

EXPOSITION UNIVERSELLE A VIENNE

EN 1873.

AVERTISSEMENT.

Le Ministère des Travaux publics a réuni, pour être envoyés à l'Exposition universelle de 1873, ainsi qu'il l'avait fait lors des concours internationaux antérieurs, une collection de dessins, modèles et ouvrages relatifs à l'art de l'ingénieur.

Malgré le peu de temps qui s'est écoulé depuis la grande Exposition ouverte à Paris en 1867, et malgré le trouble apporté dans les esprits et les travaux par les malheurs de la guerre, il n'y a admis que des œuvres entreprises ou activement poursuivies postérieurement à cette époque et n'ayant pas encore été exposées.

L'intervention administrative n'a eu d'ailleurs pour

objet que de lever des difficultés, et chacun des exposants conserve en entier la responsabilité aussi bien que le mérite de son travail.

Le présent volume se compose des notices explicatives, lesquelles sont distribuées en deux sections; savoir :

PREMIÈRE SECTION. — Ponts et chaussées.

1. Voies de communication.
2. Travaux maritimes.
3. Phares.
4. Objets divers.

DEUXIÈME SECTION. — Mines.

PREMIÈRE SECTION.

PONTS ET CHAUSSÉES.

I.

DOCUMENTS GÉNÉRAUX

SUR LES VOIES DE COMMUNICATION DE LA FRANCE.

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{320000}$.
Un volume de texte in-8°.

Les voies de communication sont *terrestres*, *fluviales* ou *maritimes*.

Les premières se divisent en *routes*, représentées sur la carte par des traits foncés de la nuance du terrain, et en *chemins de fer*, lesquels sont figurés par des traits blancs. Afin de distinguer les routes *nationales* des routes *départementales*, on a diminué pour ces dernières la largeur du trait. Les chefs-lieux de département sont désignés par de petits cercles dorés, et les chefs-lieux d'arrondissement par des cercles rouges.

Les *rivières* et *canaux* sont tracés en bleu. Une représentation conventionnelle des montagnes fait ressortir les faîtes de partage des eaux. Aux voies de communication maritimes

se rattachent les *ports de mer* (marqués par de petits cercles dorés différents de ceux qui désignent les chefs-lieux de département) et les *phares*, dont les portées lumineuses sont indiquées par des circonférences argentées. Les principales lignes de navigation sont exprimées par des traits d'or. Des traits rouges marquent dans la mer les fonds d'une profondeur de 100, 200, 500 et 1,000 mètres.

Le texte relatif aux voies de communication se divise en routes et ponts, chemins de fer, rivières et canaux, ports de mer, phares et balises.

Chacune de ces divisions fait l'objet d'un chapitre spécial, dans lequel on résume, d'après des documents officiels, les principaux faits historiques, techniques, administratifs et commerciaux qui s'y rattachent.

La carte a été dressée et peinte par M. l'ingénieur de Dartein, professeur à l'École des ponts et chaussées, avec le concours de MM. Boulard et Ciesielski.

Le texte a été rédigé par M. Félix Lucas, ingénieur des ponts et chaussées, attaché au Ministère des Travaux publics.

II.

VIADUC DU DUZON.

(DÉPARTEMENT DE L'ARDÈCHE.)

ROUTE DÉPARTEMENTALE N° 12.

Une feuille de dessins aux échelles de $0^m,005$ — $0^m,025$ — $0^m,10$.

Le viaduc du Duzon a été exécuté dans l'Ardèche, à 6 kilomètres de la ville de Tournon, pour la rectification de la route départementale n° 12.

Le projet a été approuvé par le Conseil général des ponts et chaussées le 25 août 1869, et les travaux ont été entrepris dès le surlendemain.

Les maçonneries ont été élevées avec économie et célérité, sans qu'on ait eu recours au système coûteux d'un échafaudage général pour l'apport des matériaux; d'abord de simples plans inclinés en charpente, puis des passerelles reposant sur des tréteaux et établissant la communication d'une pile à l'autre, enfin des changements heureusement conçus, dans les emplacements des manéges à mortier, les exploitations des carrières et les extractions de sable, ont suffi à ce service.

On n'a employé la pierre smillée granitique, que les difficultés de la taille rendaient très-coûteuse, qu'aux angles inférieurs des soubassements des quatre piles exposées aux attaques du courant.

Les autres parties de ces angles, le couronnement des soubassements et des fûts, les consoles, dalles de trottoirs et bahuts ont été construits en pierre smillée calcaire de Châteaubourg ou de Crussol. Les intrados des voûtes ont été exécutés en moellons piqués des carrières du Pouzin; les angles des fûts des piles, ainsi que les bandeaux des voûtes, en briques de Givors.

On n'a employé, pour le surplus, que des moellons bruts pris dans les rochers voisins, les pierres des parements étant assemblées suivant l'appareil à joints incertains dit *mosaïque*.

Le sable granitique, d'excellente qualité, a été extrait soit des fouilles de la troisième pile, soit du lit du Duzon. On en a emprunté une portion au moyen de relais de brouette à l'aval du pont de César et sur le côté gauche, et la plus grande partie sur la rive gauche en amont du grand pont, au moyen de wagonnets roulant sur un plan incliné et montés par deux chevaux ayant leur champ de course dans le lit même de la rivière.

La chaux provenait des fours de Cruas.

Les cinq premières voûtes du côté gauche ont été mises sur cintre en même temps; les cintres des trois premières ont ensuite servi au cintrement des trois dernières arches. Les décintrements, commencés le 4 août 1870, ont été terminés le 29 septembre suivant.

A un an de distance, les mortiers, à la base de la troi-

sième pile, ont supporté sans aucun écrasement une pression de $7^{k},30$ par centimètre carré.

Quatorze mois après le commencement des travaux, le viaduc et la rectification qui lui fait suite étaient livrés à la circulation.

Les cubes des diverses espèces de maçonneries sont les suivants :

Maçonnerie ordinaire	$13,123^{m},92^{c}$
Maçonnerie en pierre smillée ou piquée	199 ,07
Maçonnerie en briques	165 ,96
Chape	66 ,72
TOTAL	13,555 ,67

La dépense totale du viaduc s'est élevée :

En travaux à l'entreprise, à	$327,000^{f}$
Somme à valoir, indemnités, dommages et dépenses diverses	23,000
TOTAL	350,000

Le prix du mètre carré de parements vus, pleins et vides compris, calculé d'après la surface de 5,144 mètres carrés, délimitée à l'aplomb des dés extrêmes par la ligne inclinée de la route et le profil du sol de la vallée, est de 68 francs.

Le prix moyen du mètre cube de maçonnerie, comprenant toutes les dépenses à l'entreprise, est de 25 francs.

L'économie dans les dépenses est le principal titre de cet ouvrage à l'approbation des ingénieurs.

La superficie totale de l'élévation entre les culées est de :

Vides.....	3,349^{mq}	4,732 mètres carrés.
Pleins.....	1,383	

Le rapport du vide au plein est de 2,42.

Les travaux ont été projetés et exécutés sous la direction de M. Forestier, ingénieur en chef, par M. Bouvier, ingénieur ordinaire.

M. Donnet, conducteur principal, a été spécialement attaché aux études du projet. M. le conducteur Terras en a suivi l'exécution.

Les entrepreneurs étaient MM. Varigard et Mortier, associés.

III.

NOUVELLE GARE DES VOYAGEURS DE PARIS.

(COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER D'ORLÉANS.)

Une feuille de dessins aux échelles de $0^m,005$ et $0^m,02$.

Les développements successifs que le réseau de la compagnie d'Orléans a reçus depuis son origine ont donné à sa gare de tête une importance et une activité de mouvement que l'on était loin de prévoir à l'époque où l'ancienne gare des voyageurs de Paris a été construite. Après vingt ans d'usage, cette gare a dû être abandonnée et démolie pour faire place à une gare nouvelle, dont les dessins joints à cette notice représentent les dispositions principales.

Emplacement. — L'ancienne gare était située entre le boulevard de l'Hôpital et la rue de la Gare. Tout le terrain compris entre cette rue et le quai d'Austerlitz a été ajouté à la gare nouvelle, qui se trouve ainsi limitée et desservie d'un côté par le quai, et de l'autre par le boulevard de l'Hôpital. La superficie de la gare, qui était autrefois de 4 hectares 10, s'est trouvée ainsi portée à 10 hectares.

Dispositions générales. — Le plan général de la nouvelle gare ressemble beaucoup, aux dimensions près, à

celui de l'ancienne : à gauche le départ, à droite l'arrivée; en tête, c'est-à-dire à l'angle du boulevard et du quai, les bâtiments d'administration.

Bâtiments de départ et d'arrivée. — Le bâtiment de départ des voyageurs, qui constitue la partie la plus importante des constructions de la gare, présente au centre un pavillon en avant-corps, occupé par un vaste vestibule et par les bureaux de distribution de billets ; à droite et à gauche du pavillon central, sont deux bâtiments en aile de 60 mètres de longueur chacun, affectés, l'un aux salles d'attente, l'autre à la salle d'enregistrement des bagages. En avant de ces bâtiments et sur toute leur longueur règne un portique en fer et fonte de $6^{m},50$ de large.

Des deux extrémités du bâtiment principal partent des bâtiments en retour, qui s'avancent jusqu'au quai et dans lesquels on a placé les services accessoires : buffet, bureau de poste, bureau télégraphique, logement du chef de gare, etc.

Le bâtiment d'arrivée a la même longueur que celui du départ, mais il est moins large et de construction plus simple. Il se compose uniquement d'un vestibule d'attente et d'une salle de distribution de bagages. A son extrémité se trouve un bâtiment qui fait retour sur la cour, et dans lequel on a placé les bureaux de messagerie, l'octroi et divers services accessoires.

La cour d'arrivée, qui a 190 mètres de long sur 40 mètres de large, est couverte comme une halle sur le tiers de sa longueur, et bordée d'une marquise sur le reste de son étendue.

Halle couverte. — La largeur qui sépare les bâtiments de départ et d'arrivée est de 51^{m},50; elle est composée par huit voies et deux trottoirs. Un comble d'une seule portée couvre tout l'espace compris entre les deux bâtiments, et se prolonge à 100 mètres au delà, jusqu'à l'extrémité des halles de messageries, pour abriter le matériel remisé sur les voies intermédiaires.

Par ses vastes dimensions et surtout par sa portée exceptionnelle, ce comble est une des parties de l'édifice qui attirent le plus l'attention du public.

La longueur totale de la halle est de 280 mètres; sa portée est, comme nous l'avons dit plus haut, de 51^{m},50.

Les fermes espacées de 10 mètres en 10 mètres sont composées d'arbalétriers à croisillons en fer plat et cornières, soutenus et reliés par des bielles en fonte et des tirants en fer, d'après le système de triangulation connu sous le nom de *système Polonceau*.

Des consoles en fonte découpée, reposant sur les maçonneries, reçoivent et soutiennent les extrémités des arbalétriers.

Les pannes qui relient les fermes entre elles sont faites à croisillons comme les arbalétriers. Leur table inférieure est cintrée en arc de cercle, de telle sorte que la panne a moins de hauteur en son milieu qu'à son point de jonction avec l'arbalétrier. Cette forme de panne offre moins de sécheresse à l'œil que la forme rectiligne; elle a en outre l'avantage d'augmenter la rigidité de la panne et de contreventer plus fortement l'arbalétrier, qui se trouve embrassé dans toute sa hauteur.

Le poids du comble métallique, y compris les fermes de

tête, est de 1,300,000 kilogrammes. Toutes les dimensions des fers ont été calculées de manière qu'en aucun point, même dans les tirants, le travail du métal ne dépasse la limite de 6 kilogrammes par millimètre carré.

Récapitulation. — Le tableau ci-dessous récapitule les diverses parties dont se compose la nouvelle gare avec les superficies de chacune d'elles :

1° SURFACES BÂTIES.

Bâtiments d'administration			2,953^{m}
Bâtiment du départ.	Vestibule	600^{m}	6,068
	Salles d'attente	1,295	
	Salles de bagages	1,295	
	Portique couvert	1,044	
	Salon réservé	55	
	Bureaux	393	
	Buffet, poste télégraphique	1,386	
Bâtiment d'arrivée			2,635
Bureaux de messageries, octroi, etc.			594
Total des surfaces bâties			12,250^{m}

2° SURFACES COUVERTES NON BÂTIES.

Grande halle des voyageurs	14,714^{m}
Halle pour le petit entretien et la poste	2,876
Halles de messageries	6,400
Partie couverte de la salle d'arrivée	3,432
Total des surfaces couvertes non bâties	27,422^{m}

3° COURS DÉCOUVERTES.

Cours du bâtiment d'administration	653m
Cour du départ (voyageurs)	6,144
Cour du départ (messageries)	10,726
Partie découverte de la cour d'arrivée (voyageurs)	5,965
Cour d'arrivée (messageries)	8,684
TOTAL DES COURS DÉCOUVERTES	32,172m

EXÉCUTION DES TRAVAUX. — Le projet de reconstruction de la gare de Paris a été déclaré d'utilité publique le 12 août 1863; les expropriations de terrains ont été réalisées aussitôt après l'accomplissement des formalités légales, et les travaux de maçonnerie, adjugés en novembre 1864, ont été commencés dans les premiers jours de l'année 1865.

La nouvelle gare a été complétement livrée à l'exploitation au mois de juillet 1869. Ainsi son exécution a duré quatre ans et demi. Ce temps ne paraîtra pas long à ceux qui voudront bien se rendre compte de l'importance des travaux à faire, et considérer que, la nouvelle gare devant être construite sur l'emplacement de l'ancienne, aucun bâtiment ne pouvait être démoli qu'après avoir été remplacé, en sorte que les nouvelles constructions ne pouvaient se faire que par parties successives à travers de nombreuses sujétions.

Le terrain sur lequel la nouvelle gare est bâtie se présentait dans des conditions extrêmement défavorables au point de vue des fondations. On a été obligé de descendre à des profondeurs variant de 8 à 11 mètres au-dessous du

sol pour trouver un terrain sur lequel on pût s'établir avec sécurité; à ces profondeurs, les épuisements étaient considérables à cause du voisinage de la Seine et de la nature perméable des couches traversées. Ce travail de fondation, qui s'appliquait à plus de 2 kilomètres de murs à construire, s'est accompli sans aucun accident; mais il a donné lieu à une forte dépense.

Le montage des fermes de la grande halle était une des opérations les plus délicates de la construction. Ce montage devait se faire par-dessus les trottoirs et les voies en exploitation, sans interrompre le service de la gare. La difficulté a été surmontée très-heureusement par l'usine du Creusot, au moyen d'un échafaudage roulant, de même largeur que le comble, et couronné, à la naissance de ce dernier, par un plancher sur lequel on avait installé les chèvres et autres engins de levage. Cet appareil offrait toute la commodité désirable pour l'assemblage et la mise en place des pièces du comble, et dégageait complétement les trottoirs et toutes les voies autres que celles sur lesquelles s'opérait son mouvement.

Dépenses. — L'ensemble des dépenses auxquelles a donné lieu la reconstruction de la gare de Paris se divise en quatre parties distinctes : l'acquisition des terrains ; le bâtiment d'administration; la gare proprement dite; les travaux accessoires : voies, abords, etc.

L'article achat de terrains est le plus important; il s'élève à la somme de.....	8,350,000f
La surface acquise est de 64,870 mètres carrés,	
A reporter.....	8,350,000f

Report..... 8,350,000f

ce qui fait ressortir le prix du mètre superficiel à 128 fr. 85 cent. tous frais accessoires compris.

Le bâtiment d'administration a coûté..... 1,640,000

Le bâtiment se compose de caves, rez-de-chaussée, deux étages et mansardes.

La dépense par mètre carré ressort à 355 fr. 70 c.

Et les fondations entrent dans ce prix pour 130 fr.

Les dépenses de la gare proprement dite se sont élevées à..... 6,900,000[1]

Les travaux accessoires, comprenant les voies, plaques, aiguilles, etc., les déviations de rues, la création d'un chemin entre les gares de Paris et d'Ivry, et enfin la reconstruction et l'élargissement du pont du boulevard de la Gare, ont donné lieu à une dépense de 1,110,000

Dépense totale..... 18,000,000f

[1] Ces dépenses se décomposent comme il suit :

DÉSIGNATION DES DIVERSES PARTIES DE LA CONSTRUCTION.	PRIX par MÈTRE CARRÉ.	DÉPENSE.
Bâtiment de départ.....	520f	3,156,000f
Bâtiment d'arrivée.....	328	1,158,000
Halle des voyageurs.....	70	1,030,000
Halle des messageries.....	66	422,000
Halle du petit entretien et de la poste.....	44	126,000
Partie couverte de la cour d'arrivée et marquises. ...	52	178,000
Quais découverts, cours, trottoirs.....	"	580,000
Travaux divers comprenant aqueducs, murs et grilles de clôture.....	"	250,000
Total de la dépense.....	.....	6,900,000

Les travaux dont cette notice présente le résumé sommaire ont été projetés et exécutés, sous la haute direction de MM. Didion, délégué général du conseil d'administration, et Solacroup, directeur de la compagnie, par MM. Sevène, ingénieur en chef; Louis Renaud, architecte principal, à qui appartient toute la partie architecturale du projet, et Gilles, chef de section.

Les entrepreneurs étaient :

Pour la maçonnerie : MM. Bouyer, Cohadon, Bagnard, gérants d'une société ouvrière;

Pour les charpentes métalliques : l'Usine du Creusot, principalement représentée par M. Mathieu, ingénieur en chef.

IV.

CHARPENTE EN FER

DE LA REMISE CIRCULAIRE DE LA GARE DE MONTROUGE (À PARIS).

LIGNE DE PARIS À SCEAUX, ORSAY ET LIMOURS.

(COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.)

Dessins à des échelles variant de $0^m,01$ à $0^m,50$.

Le chemin de fer de Paris à Sceaux, d'une longueur de 11 kilomètres, avait été construit en 1846, avec des rampes de $0^m,0115$ et des courbes de 60 mètres de rayon, pour l'essai des machines et des voitures inventées par M. Arnoux, dans un système dit articulé.

La voie de ce chemin a une largeur de $1^m,80$; et les machines, construites sur un type particulier, ont une longueur de $9^m,80$ et une largeur de $3^m,35$.

Les gares de tête sont complétement circulaires, en forme de raquette, dont le sommet est décrit avec un rayon de 25 mètres.

Ce chemin ne recevait que des voyageurs.

En 1854, le chemin de Sceaux fut d'abord prolongé jusqu'à Orsay, toujours pour les voyageurs seuls; mais en 1867 il fut continué jusqu'à Limours; sa longueur se trouva alors portée à 43 kilomètres, et il dut être approprié au service des marchandises.

Par suite, il a fallu construire à la gare de Paris, dite de Montrouge, une annexe pour la gare des marchandises, pour les remises et pour les ateliers; et, comme l'espace manquait, et que tous les bâtiments sont fort resserrés, la remise des locomotives, destinée à recevoir seize machines, a dû être disposée suivant la forme circulaire.

Les machines du système Arnoux ont exigé, pour cette rotonde, un diamètre intérieur de 45 mètres; le croisement des voies nécessitait en même temps, autour de la grande plaque centrale, un espace vide de 17 mètres de rayon; et la compagnie d'Orléans se décida alors à recouvrir cette remise au moyen d'une grande charpente circulaire en fer, reposant directement sur les murs d'enceinte, sans aucun appui intérieur.

Déjà deux charpentes semblables, de 20 mètres de diamètre, avaient été construites à Tours pour la partie centrale des remises circulaires :

De grands arbalétriers, reliés entre eux par une série de cercles concentriques, s'appuient directement, à la base, sur chacun des angles du mur d'enceinte polygonal ; au sommet, sur la couronne qui porte la lanterne, et leur poussée extérieure, sur les murs, est maintenue par une forte chaîne polygonale.

Le même système a été appliqué à la remise de la gare de Montrouge.

Le grand cercle polygonal, qui repose sur les murs d'enceinte, a 45 mètres de diamètre; il est composé de trois lames de tôle de 30 centimètres de hauteur et de 15 millimètres d'épaisseur chacune, présentant ainsi une section de 135 centimètres carrés.

Le cercle supérieur, qui porte la lanterne, a un diamètre de $7^m,48$.

Les 16 arbalétriers ont chacun $20^m,67$ de longueur; ils sont composés d'une lame de tôle de 8 millimètres d'épaisseur, bordée et consolidée par quatre cornières.

Ces arbalétriers, dont le pied tend la chaîne inférieure et dont le sommet s'appuie sur le cercle supérieur, qu'il comprime, sont reliés et soutenus par neuf cercles concentriques intermédiaires, qui s'opposent énergiquement à toute flexion et à toute déformation.

A cet effet, chacun des nœuds a été consolidé au moyen d'équerres et de larges goussets, qui embrassent à la fois, à la partie supérieure et à la partie inférieure, les arbalétriers et les entretoises formant les cercles successifs, et qui sont fortement rivés et boulonnés avec toutes ces pièces.

Le cercle supérieur, soumis à une compression considérable, a reçu naturellement des dimensions plus fortes.

Les montants verticaux de la lanterne sont formés de plaques de tôle, disposées de manière à présenter, dans tous les sens, de fortes résistances; ces plaques sont assemblées et bien reliées avec les cercles qui les soutiennent et les embrassent.

La lanterne est composée également de seize petits arbalétriers, rattachés par deux cercles concentriques; et le cercle extérieur, dont le rayon est de $3^m,74$, a reçu les dimensions nécessaires pour résister aux tensions.

Le mur d'enceinte a dû être supprimé au droit du petit atelier de réparation annexé à cette remise; dans cet intervalle, la charpente de la rotonde repose sur quatre colonnes, qui ont été élevées aux angles du grand polygone;

et la chaîne inférieure a été fortement reliée sur le sommet de ces colonnes.

Afin que ces colonnes ne fussent pas exposées à être brisées par de brusques secousses, elles ont été faites en tôle, au moyen de deux parties demi-cylindriques assemblées par des rivets.

Les dispositions d'ensemble, les sections, les dimensions des pièces principales ainsi que tous les détails des assemblages, sont représentés sur les dessins exposés.

Montage. — Pour le montage, on a commencé par fixer à chacun des angles du polygone les coussinets en fonte destinés à recevoir la grande chaîne, qui forme la base et la véritable clef de cette construction; et toutes les parties de cette chaîne ont été assemblées et assujetties avec le plus grand soin.

On a ensuite élevé au centre un mât vertical de 17 mètres de hauteur; et chaque arbalétrier, après avoir été bien arrêté à sa base, a été établi dans sa position définitive au moyen d'une longue pièce de bois, qui, s'appuyant elle-même sur le mur d'enceinte, se reliait au mât central, et était soutenue dans sa longueur par des montants intermédiaires.

Lorsque tous les arbalétriers ont été ainsi disposés, on a posé le cercle supérieur, réunissant tous les sommets.

Chacune des entretoises ou pannes, formant les divers cercles concentriques, a été reliée alors avec une grande facilité aux deux arbalétriers contigus; et de légers échafaudages, suspendus aux pièces principales, ont permis de consolider tous les assemblages.

Chaque pièce avait été fabriquée et rivée dans toutes ses parties à l'usine; on a rivé sur place les pièces les plus importantes, mais les autres ont été assemblées au moyen de boulons.

La charpente en fer a été mise en place pendant les premiers mois de l'année 1869; et la couverture a été terminée à la fin du mois d'août de la même année.

Déjà cette couverture a subi des coups de vent très-violents; elle a été entièrement recouverte d'une couche de neige d'environ 16 centimètres d'épaisseur, et elle a très-bien résisté.

Dimensions générales. — Le mur d'enceinte est construit suivant un polygone régulier de seize côtés; le cercle qui circonscrit ce polygone a 23 mètres de rayon; le mur a 50 centimètres d'épaisseur, et le rayon polygonal de la chaîne en fer, qui retient le pied des arbalétriers, est de $22^{m},50$.

La surface de ce dernier polygone est donc de $1,545^{m},92$.

Son développement est de $140^{m},46$.

Chacun des côtés a une longueur de $8^{m},779$, et chaque segment a une surface de $96^{m},62$.

Le cercle supérieur, qui circonscrit le polygone de la lanterne, a un rayon de $7^{m},48$.

La couverture fait avec l'horizontale un angle de 25°.

La longueur réelle de chaque arbalétrier est de $20^{m},67$.

Les cercles intermédiaires sont espacés les uns des autres, en plan, de $1^{m},83$, et, en réalité, de $2^{m},06$.

La lanterne est garnie de verres striés de $0^{m},0045$ d'épaisseur; l'ensemble de la rotonde est couvert en grandes

ardoises de 60 centimètres de longueur sur 30 centimètres de largeur.

Les pièces présentent en général un excès de force, afin d'établir une grande rigidité dans tout le système; par suite, les fers travaillent presque tous à moins de 6 kilogrammes par millimètre de section, et aucune pièce, dans les circonstances les plus défavorables, ne travaille à plus de 8 kilogrammes.

Le montant des dépenses a été réglé ainsi :

Fers.....	140,436^{k} 91.....	à.....	0^{f} 59^{c}.....	82,857^{f} 79^{c}
Fontes....	7,249	à.....	0 38.....	2,754 63
Totaux...	147,685^{k} 91			85,612^{f} 42^{c}

La surface couverte, mesurée intérieurement, est :

Pour la remise circulaire.....	1,546^{mq}
Pour l'annexe réservée aux ateliers.....	643
Ensemble.....	2,189^{mq}

d'où résulte, par mètre superficiel d'espace couvert,

Un poids de métal de..... $\frac{147,686^{k}}{2,189} = 67^{k}\ 47$

Et une dépense de..... $\frac{85,612^{f}}{2,189} = 39^{f}\ 11^{c}$

Si on déduit les poids employés pour la charpente de l'annexe, 26,436^{k} 91 de fer et 3,699^{k} de fonte, il reste pour la charpente de la remise circulaire seule :

Fers.....	113,437^{k}.....	à.....	0^{f} 59^{c}.....	66,927^{f} 83^{c}
Fontes....	3,550	à.....	0 38.....	1,349 00
Totaux...	116,987^{k}			68,276^{f} 83^{c}

soit par mètre superficiel d'espace couvert, mesuré suivant la chaîne inférieure,

Un poids de métal de..... $\frac{116,987^{k}}{1,546} = 75^{k}\ 67$

Et une dépense de..... $\frac{68,276^{f}\ 83^{c}}{1,546} = 44^{f}\ 17^{c}$

Les travaux de la gare de Montrouge ont été exécutés, sous la direction supérieure de M. Didion, inspecteur général des ponts et chaussées, délégué général du conseil d'administration de la compagnie d'Orléans, de M. Solacroup, directeur de la compagnie, et de M. Morandière, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur des travaux neufs, par MM. Malibran, ingénieur des ponts et chaussées, qui a rédigé les projets; Morandière (Édouard), ancien élève de l'École polytechnique, qui a dirigé l'exécution et fait terminer les travaux; Remy, conducteur des ponts et chaussées, chef de section.

L'entreprise était confiée à la maison Boignes, Rambourg et Cie, représentée par M. Ivan Flachat, son ingénieur.

V.

VIADUC DE LA BOUBLE.

LIGNE DE COMMENTRY À GANNAT.

(COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.)

Dessins à des échelles variant de $0^m,004$ à $0^m,50$.

Le chemin de fer de Commentry à Gannat traverse un pays coupé par un grand nombre de vallées, dont les vallées de *la Bouble*, du *Bellon* et de *la Sioule* sont les plus profondes; et, malgré l'adoption des rampes de 15 millimètres et la percée de six souterrains d'une longueur ensemble de 1,176 mètres, il a fallu construire un grand nombre de viaducs[1]. Quatre, d'une très-grande hauteur, ont été

[1] Désignation des viaducs :

DÉSIGNATION DES VIADUCS.	LONGUEUR TOTALE.	HAUTEUR au-dessus du fond des vallées.	DÉPENSE TOTALE.	DÉPENSE PAR MÈTRE superficiel en élévation.
1° EN MÉTAL.	mètres.	mètres.	francs.	fr. c.
De la Bouble	395 00	66 00	1,100,000	61 40
Du Bellon	231 00	48 50	510,000	69 00
De la Sioule	180 60	58 80	515,000	68 60
De Neuvial	160 25	44 00	320.000	75 00
2° EN MAÇONNERIE.				
Du Soleil	189 60	30 50	304,500	72 50
Des Baladiers	97 30	24 40	136,000	82 40
De Laperrière	124 80	33 70	210,000	70 00

établis avec des travées métalliques, d'une portée moyenne de 50 mètres, et avec des piles métalliques, analogues aux piles des viaducs construits précédemment à Busseau d'Ahun et à la Cère, sur deux autres lignes de la compagnie d'Orléans [1].

Mais les piles des viaducs de Busseau d'Ahun et de la Cère étaient composées chacune de huit colonnes en fonte, tandis que, pour les viaducs de la ligne de Gannat, chaque pile est formée seulement de quatre colonnes en fonte, et le viaduc de la Bouble présente sous ce rapport le type le plus remarquable de ce nouveau système.

Dimensions générales. — La viaduc de la Bouble s'élève à 66 mètres au-dessus du niveau du cours d'eau; sa longueur totale est de 395 mètres, et il est composé de six travées métalliques de 50 mètres de longueur chacune, mesurées d'axe en axe.

La culée de la rive gauche, de $71^{m},30$ de longueur, est formée de cinq arches en maçonnerie de 10 mètres d'ouverture en plein cintre; la culée de la rive droite, de $23^{m},70$ de longueur, est formée seulement de deux arches de 7 mètres d'ouverture, également en plein cintre.

Les cinq piles sont construites entièrement en métal, et les trois piles centrales ont une hauteur uniforme de $55^{m},80$ entre le chapiteau qui supporte les travées et le socle en maçonnerie, élevé de $1^{m},90$ au-dessus des crues de la Bouble.

[1] Ces derniers ouvrages avaient figuré à l'Exposition de 1867 et avaient valu une médaille d'or à leur auteur, M. l'ingénieur en chef Nordling.

Le couronnement de ces piles est terminé par un chapiteau à charnières sur lequel repose le tablier.

Piles. — Les colonnes, ou grands arbalétriers en fonte, qui composent les piles, ont 50 centimètres de diamètre extérieur, et leur épaisseur varie de 3 centimètres à 45 millimètres. Le vide intérieur a été rempli en béton pour augmenter leur poids.

Elles sont divisées par étages de 5 mètres de hauteur, et chaque étage est fortement relié par un système de barres de fer formant croix de Saint-André, en plan et en élévation sur chacune des faces extérieures.

Toutes les parties des maçonneries et du métal, pour les piles culées comme pour les piles isolées, forment d'ailleurs pyramide, et convergent vers un même point élevé à 40 mètres au-dessus du niveau des rails.

Les colonnes présentent ainsi de face un fruit de 25 millimètres et transversalement un fruit de 35 millimètres; au sommet, la plate-forme a une largeur de $2^{m},50$ sur $3^{m},50$ de longueur. Le chemin est à une seule voie.

A la partie inférieure, les arbalétriers sont fortement contre-butés contre l'action du vent par des jambes de force, formant de puissants arcs-boutants qui embrassent les trois étages inférieurs; ces arcs-boutants sont décrits avec un rayon de 24 mètres et donnent un empatement de $6^{m},60$, de sorte que les trois grandes piles centrales ont à la base une longueur totale de $20^{m},60$.

Les diverses parties des colonnes sont assemblées entre elles au moyen de boulons de 45 à 50 millimètres de diamètre; leur nombre croît de quatre à huit depuis le cha-

piteau jusqu'aux étages inférieurs, sujets aux plus fortes tensions.

Les entretoises et les croix de Saint-André, qui relient chaque étage, sont attachées aux colonnes au moyen de longs goussets en tôle rivés sur des nervures venues de fonte, et la rivure, exécutée avec soin, a donné de très-bons résultats.

Pour le viaduc de la Sioule, construit par M. Eiffel, des goussets en tôle ont été insérés dans la fonte au moment de la coulée des colonnes; on avait eu soin de chauffer ces tôles avant l'introduction de la fonte dans le moule, et l'opération a parfaitement réussi.

Les extrémités des jambes de force des arbalétriers sont reliées aux maçonneries des piles au moyen de grandes barres de fer, qui pénètrent verticalement dans les maçonneries sur $2^{m},50$ de profondeur; la partie supérieure de ces barres est boulonnée extérieurement, et se trouve ainsi facilement accessible.

Au centre de chaque pile du viaduc de la Bouble s'élève verticalement une colonne en fonte qui sert à soutenir les contreventements horizontaux des divers étages, ainsi que les tirants qui relient transversalement les points d'intersection des croix de Saint-André, afin d'empêcher tout flambage.

Une échelle, disposée en forme d'hélice, s'enroule autour de cette colonne centrale et sert à visiter aisément toutes les parties de la construction.

Enfin, un paratonnerre, placé dans l'axe de la pile centrale, s'y bifurque en deux parties soudées à chacune des deux poutres et se termine par deux pointes dépassant les garde-corps.

Travées en tôle. — Les travées sont composées de deux poutres à treillis, distantes de $3^m,50$ d'axe en axe, et reposant ainsi directement sur les grandes colonnes en fonte des piles.

La hauteur de ces poutres est de $4^m,54$; la paroi verticale est formée de grandes mailles de 4 mètres de largeur, espacées de 2 mètres les unes des autres, de sorte qu'elles forment un double treillis, dont toutes les barres sont rivées et assemblées entre elles.

Les barres dirigées vers les culées sont en fers en U, tandis que les barres dirigées vers l'axe de la travée sont en fers plats [1].

Les treillis sont, en outre, renforcés et roidis par des montants verticaux, espacés de 2 mètres en 2 mètres, et formés de deux cornières qui relient et soutiennent les pièces de pont.

Sur ces pièces de pont, distantes ainsi de 2 mètres les unes des autres, reposent six barres à double T, de 18 centimètres de hauteur, espacées de 60 centimètres d'axe en axe, et le plancher, qui est formé de fers en Λ, est rivé directement sur ces barres.

Ces fers en Λ ont 12 centimètres de hauteur, 23 centimètres de largeur à la base, et pèsent 19 kilogrammes le mètre linéaire, soit 80 kilogrammes par mètre superficiel.

Ce plancher en fer est susceptible d'une grande résis-

[1] Pour le viaduc de la Sioule, construit par M. Eiffel, sur le même chemin, les barres des treillis sont en fers plats, et toutes ces barres ont été roidies par des fers cornières, de sorte que toutes peuvent ainsi résister à des efforts de compression.

tance; il reste à découvert, ce qui permet de le visiter et de l'entretenir[1].

Le niveau du dessus des rails est élevé à 45 centimètres au-dessus des pièces de pont, et, comme ces pièces de pont ont été arasées à 55 centimètres en contre-bas du dessus des poutres, dont la plate-bande supérieure forme trottoir, il en résulte que les trottoirs se trouvent à environ 10 centimètres au-dessus de la voie.

Une passerelle, de 70 centimètres de largeur, a d'ailleurs été ménagée à la partie inférieure du tablier; elle règne dans toute l'étendue du viaduc métallique sur une longueur de 300 mètres, et l'on y descend par des escaliers ménagés dans l'intérieur des culées.

Chapiteaux à charnières. — Comme pour les viaducs de Busseau d'Ahun et de la Cère, le tablier du viaduc de la Bouble repose sur des piles au moyen d'un chapiteau à charnières, dont les dessins donnent tous les détails; il en résulte que toutes les charges permanentes ou accidentelles se répartissent d'une manière très-égale sur chacun des quatre grands arbalétriers des piles[2].

Mise en place. — Le tablier a été construit du côté de la rive gauche de la Bouble, sur une plate-forme de 150 mè-

[1] M. Joly, d'Argenteuil, a depuis employé, au lieu de ces fers en Λ, des tôles embouties de 1 centimètre d'épaisseur.

[2] Pour atteindre ce résultat d'une manière certaine, il a fallu réduire à quatre le nombre des arbalétriers des piles; la perfection, qui a été apportée dans l'exécution des quatre grands viaducs du chemin de Gannat, devient alors un des éléments indispensables des travaux de cette nature, puisque la

tres de longueur et de 25 mètres de largeur, dérasée à $5^{m},20$ en contre-bas du niveau de la voie définitive; puis il a été lancé dans l'espace de manière à dépasser, d'une longueur exacte de 50 mètres, d'abord la culée, puis successivement chacune des piles aussitôt après leur achèvement.

Préalablement, pour chaque pile, on avait construit le soubassement en maçonnerie et élevé les trois premiers étages de la partie métallique, parce que l'assemblage des jambes de force exigeait des soins particuliers et demandait plus de temps. Mais les fontes et les fers des étages supérieurs étaient amenés sur le tablier même du pont, et de là descendus sur la pile au lieu d'emploi, comme cela avait été pratiqué à Fribourg, à Busseau d'Ahun et à la Cère.

De nombreuses photographies, prises à diverses époques, font voir la disposition des travaux [1]. La photographie prise le 20 janvier 1869 est surtout digne d'attention, parce que, à cette époque de l'année, le travail étant suspendu, le tablier demeura pendant un temps assez long en porte à faux, à 50 mètres d'une des grandes piles, et subit dans cette position des coups de vent d'une grande violence. La parfaite stabilité des piles et de toute la première partie

rupture d'une seule colonne causerait la ruine du viaduc. Pour être à l'abri des éventualités de cette nature, plusieurs constructeurs préféreraient, pour les grands arbalétriers des piles, l'emploi des tôles, dont on se sert aujourd'hui avec tant d'avantage pour les grandes bigues à mâter.

Il semble également que l'élasticité même du métal permet de se dispenser de l'emploi des chapiteaux à charnières, et si le tablier reposait directement sur l'ensemble du couronnement de la pile, la stabilité serait plus grande et les vibrations se propageraient moins rapidement lors du passage des trains.

[1] Voir l'album des photographies de la compagnie du chemin de fer d'Orléans.

terminée du viaduc inspirèrent alors une grande confiance dans la hardiesse de ces beaux ouvrages.

Temps de la construction. — Le projet du viaduc de la Bouble a été approuvé le 25 novembre 1867. Les travaux ont été entrepris dès le commencement de 1868, et les premiers trains de matériaux ont pu passer sur le viaduc vers le milieu de l'année 1870. La construction a donc duré environ deux ans et demi.

Épreuves. — Les épreuves définitives eurent lieu en février 1871, et le chemin de Commentry à Gannat fut livré définitivement le 19 juin 1871 [1].

Les épreuves ont été faites d'abord au moyen d'un poids mort de 4,000 kilogrammes par mètre linéaire, soit 200,000 kilogrammes par travée.

Elles ont eu lieu ensuite au moyen d'un train de 74 mètres de longueur, composé de deux machines pesant chacune 65 tonnes et de six wagons pesant 15 tonnes, soit ensemble 220 tonnes, et, par mètre linéaire, 3,000 kilogrammes.

[1] Le procès-verbal de réception, dressé le 4 mai 1871, par MM. Dufresne et Graeff, inspecteurs généraux, et M. Ravier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, contient la mention suivante :

«Avant de clore le présent procès-verbal, les membres de la commission croient devoir signaler le soin avec lequel ont été construits les différents ouvrages de la ligne de Commentry à Gannat. Les grands viaducs métalliques surtout se font remarquer par une précision d'exécution que rendait nécessaire le système adopté, et qui se rencontre non-seulement dans l'ajustement des grandes pièces, mais encore dans tous les détails des pièces secondaires.»

Les plus grandes flèches observées ont eu lieu sur les travées intermédiaires, et elles sont indiquées ci-dessous :

1° Épreuves sous un poids mort.

Toutes les travées chargées simultanément	$0^m,019$
Une seule travée chargée	0 ,030
Relèvement des travées non chargées	0 ,013

2° Épreuves sous le passage d'un train.

Avec une vitesse variant de	24 à 32 kilomètres à l'heure	0 ,024
	38 à 42 ———	0 ,030
	47 à 63 ———	0 ,025

3° Tassement maximum des grandes piles (pile de 55 mètres).

Sous le poids mort	$0^m,005$
Sous le passage des trains	0 ,004

Poids. — Le poids des fontes et des fers employés dans la construction d'une grande pile de onze étages, ou de $57^m,50$ de hauteur, ont été les suivants :

1° Fontes, pour les huit étages supérieurs, chapiteau compris	$72,984^k$
Pour les trois étages inférieurs, base comprise	78,016
Ensemble	151,000
2° Fers, pour les huit étages supérieurs, chapiteau compris	21,364
Pour les trois étages inférieurs, base comprise	22,636
Ensemble	44,600
Poids total du métal employé	195,600

soit par mètre linéaire en élévation $\frac{195,600}{57,50} = 3,400$ kilogrammes.

Chaque travée a 50 mètres de longueur et pèse 2,400 kilogrammes le mètre linéaire, voie comprise.

Son poids total est ainsi de	120,000^{k}	
Poids de la charge d'épreuve.	200,000	
dont chacune des colonnes de la pile a porté le quart, soit		80,000^{k}
Le poids des huit étages de la pile, y compris le poids du béton intérieur, est de 136,000 kilogrammes, dont un quart pour chaque colonne.		34,000
Le poids des trois derniers étages est de même de 144,000 kilogrammes, dont un quart.		36,000
CHARGE MAXIMUM que chaque colonne peut avoir à supporter		150,000

dont la charge morte forme les deux tiers.

Les colonnes en fonte ont un diamètre extérieur de 50 centimètres au sommet.

L'épaisseur des fontes est de 3 centimètres, et la section est de.	44,300^{mmq}
A l'origine des jambes de force, l'épaisseur des fontes est de 45 millimètres, et la section est de.	64,300
A la base des colonnes, l'épaisseur des fontes est de 3 centimètres, et la section est de.	44,300

Les jambes de force, de 50 centimètres de diamètre extérieur, ont une section qui n'est jamais moindre de 64,300^{mmq}.

PRESSIONS SUR LES COLONNES EN FONTE. — Par suite, les

pressions maxima que supportent les fontes par millimètre carré s'établissent ainsi :

Au sommet des piles $\frac{80,000}{44,300}$	$1^{k},80$
A l'origine des jambes de force $\frac{114,000}{64,300}$	1 ,77
A la base sur les jambes de force seules $\frac{150,000}{64,300}$	2 ,33
A la base sur les jambes de force et les colonnes réunies $\frac{150,000}{108,600}$	1 ,38

Dépenses. — Les dépenses faites pour les piles et les travées métalliques, et pour les maçonneries, se résument de la manière suivante :

§ 1er. Une grande pile de onze étages.

Fontes, 151,000 kilogrammes à 42 centimes le kilogr.	63,420f
Fers, 44,600 kilogrammes à 55 centimes le kilogr. . . .	24,530
Ensemble.	87,950
Maçonneries sur une hauteur de $2^{m},50$ au-dessus du sol	22,066
Divers.	5,984
Total.	116,000

soit par mètre linéaire en élévation :

Pour la partie métallique seule $\frac{87,950}{57,50} = 1,530^{f}$

Pour la totalité des dépenses $\frac{116,000}{60,00} = 1,933$

§ 2. Ensemble du viaduc.

1° *Partie métallique.*

3 grandes piles de onze étages, à 87,950 francs l'une.	263,850f
2 piles de huit étages, à 67,910 francs l'une.....	135,820
Ensemble pour les piles.....	399,670
Les six travées, d'une longueur totale de 300 mètres, à 1,293 francs le mètre linéaire.....	387,900
Divers accessoires.....	22,083
Total pour toute la partie métallique....	809,653

2° *Maçonneries.*

Les trois grandes piles ensemble.....	66,200f	290,347
Les deux petites piles.....	33,000	
La culée de la rive droite.....	108,000	
La culée de la rive gauche.....	31,500	
Abords et divers accessoires.....	51,647	
Total général.....		1,100,000

Prix de l'unité. — Longueur totale du viaduc, culées comprises.....	395m
Hauteur maximum au-dessus des plus hautes eaux de la Bouble.....	66m
Hauteur moyenne.....	45m,30
Superficie en élévation.....	17,900m
Dépense totale.....	1,100,000f
Dépense pour une grande pile, tout compris.....	116,000f
Dépense pour 1 mètre linéaire de tablier.... 1,293f	1,400f
Divers..... 107	

D'où résultent les prix suivants :

Par mètre linéaire $\frac{1,100,000^f}{395} = 2,785^f$

Par mètre superficiel en élévation $\frac{1,100,000^f}{17,900} = 61^f,45$.

Par mètre linéaire, pour la partie centrale considérée isolément, une grande pile coûte par mètre linéaire de pont $\frac{116,000}{50} = 2,320^f$

Le tablier métallique.....	1,400
TOTAL pour le prix du mètre linéaire....	3,720

Prix du mètre superficiel en élévation $\frac{3,720}{66} = 56^f,36$.

Les travaux du chemin de Gannat ont été exécutés, sous la direction supérieure de M. DIDION, délégué général du conseil d'administration de la compagnie d'Orléans, et de M. THIRION, directeur du réseau central, par MM. W. NORDLING, ingénieur en chef; DELOM, ingénieur pour la partie métallique; GEOFFROY, ingénieur pour les maçonneries et les abords.

L'entreprise de la partie métallique était confiée à la maison CAIL et Cie, et à la compagnie de Fives-Lille, représentées par M. MOREAUX, ingénieur en chef.

VI.

VIADUC MÉTALLIQUE DE L'OSSE

À PILES TUBULAIRES.

LIGNE D'AGEN À TARBES.

(COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI.)

Dessins à des échelles variant de $0^m,004$ à $0^m,10$.

Disposition générale. — Cet ouvrage, construit sur la ligne du chemin de fer d'Agen à Tarbes, sert à franchir la vallée de l'Osse, en alignement droit, mais avec une pente de $0^m,25$ et à une hauteur variable de $21^m,86$ à $17^m,54$; il se compose d'un viaduc métallique de sept travées ayant une portée de $38^m,40$ pour les travées intermédiaires, et de $28^m,80$ pour les travées extrêmes.

La longueur totale est par conséquent de $249^m,60$.

Le tablier métallique est supporté par deux culées en maçonnerie et par six doubles piles tubulaires en fonte de $1^m,70$ de diamètre, remplies de béton. Ce massif intérieur leur donne une stabilité et une inertie bien propres à résister à l'action du vent et aux vibrations moléculaires que le mouvement des machines développe dans les poutres.

Ces colonnes sont formées d'anneaux successifs, parfaitement boulonnés entre eux, de manière à en faire un cy-

lindre unique qui descend, en s'encastrant à sa base, dans le terrain solide, et qui reçoit à sa partie supérieure le poids de deux demi-travées contiguës, par l'intermédiaire de plaques de fondation munies de glissières et de rouleaux de friction.

La superstructure métallique de ce viaduc présente la plus grande analogie avec le pont métallique de Bordeaux. L'ouvrage n'en diffère que sous ce rapport capital, qu'il est à une seule voie et que les rails, au lieu de se trouver à la partie inférieure, se trouvent à la partie supérieure.

Avantage des colonnes en fonte. — Le viaduc de l'Osse a son tablier établi en pente de $0^m,25$ par mètre; il a été étudié de manière à pouvoir servir de type, même dans le cas où la déclivité atteindrait $0^m,31$.

Dans ces conditions, la composante horizontale, due à l'inclinaison du plan des rails, produit sur les piles, au passage des trains, une tendance au déversement qui rend nécessaire l'encastrement des piles, et l'adoption de dispositions de nature à assurer dans celles-ci une égale répartition des pressions.

Les tubes en fonte, dont les anneaux sont fortement boulonnés entre eux, étant remplis de béton forment une colonne qui pénétre dans le terrain solide, aussi profondément qu'il est nécessaire, et qui constitue ainsi une sorte de solide cylindrique encastré par une de ses extrémités.

La section constante est d'ailleurs éminemment propre à résister d'une manière sûre à toute force horizontale, soit qu'elle agisse dans la direction du pont lorsqu'elle provient

de l'inclinaison des rails, soit obliquement à l'axe, lorsqu'elle est provoquée par l'action du vent ou par le mouvement de lacet.

Enfin, le béton qui remplit les colonnes leur donne une stabilité et une inertie très-propres à résister à l'action du vent. Si, au lieu d'être ainsi disposées, les piles étaient formées d'arbalétriers métalliques et croisillonnés, leur about, implanté dans une maçonnerie, ne pourrait en assurer l'encastrement que d'une manière très-imparfaite. Ces pièces seraient soumises à un travail considérable et même dangereux, parce que, dans certaines circonstances, tout l'effort pourrait se reporter sur une seule file d'arbalétriers, au lieu de se répartir uniformément sur toutes les files.

Stabilité des piles. — La charge par centimètre carré à la surface supérieure du béton est de $3^k,13$.

Dans l'effort transversal maximum, la fonte travaille à $1^k,32$ par millimètre carré.

Dépense. — Le prix total du viaduc, tel qu'il résulte des comptes terminés et soldés, est de 563,087 francs, c'est-à-dire de 2,255 fr. 55 cent. par mètre courant, et de 112 fr. 79 cent. par mètre carré d'élévation au-dessus du sol, vides et pleins confondus.

Le prix du mètre courant du tablier, sans piles ni culées, est de 1,431 fr. 13 cent.

Enfin, le prix du mètre courant de hauteur de pile métallique est de 1,369 fr. 45 cent.

Les ingénieurs qui ont dressé les projets du viaduc de

l'Osse et en ont dirigé l'exécution, M. Surell étant directeur de la compagnie des chemins de fer du Midi, sont :

M. Paul Régnauld, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la construction;

M. Boutillier, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur de la construction.

Les travaux ont été surveillés par MM. Binet et Chollet, conducteurs, et exécutés par la maison Cail et Cie.

VII.

RAILS EN ACIER

EMPLOYÉS

PAR LES PRINCIPALES COMPAGNIES DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

Divers échantillons et un portefeuille de dessins.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DE L'EST.

La compagnie des chemins de fer de l'Est a fait poser, sur les parties les plus fatiguées de son réseau, quelques petites sections de voie en rails d'acier Bessemer qui lui ont été fournis par les principales usines françaises (Terre-Noire, Rive-de-Gier, le Creusot, Saint-Jacques, Montluçon, Imphy).

Ces rails, dont un échantillon est exposé, sont du type Vignole et du même profil que les rails en fer de 35 kilogrammes le mètre courant, en usage depuis longtemps sur le réseau. Leur poids, en raison de la différence de densité des deux métaux, s'élève à 36 kilogrammes par mètre.

Chaque rail de six mètres repose sur des traverses de joint, par l'intermédiaire de platines à deux rebords, et sur six traverses intermédiaires espacées de 90 centimètres d'axe en axe. Les attaches consistent en tire-fonds galvanisés.

Une expérience a été faite par la compagnie de l'Est pour comparer les durées des rails en acier et en fer. On a posé au mois de mars 1866, sur une partie extrêmement fatiguée de la voie principale, dans la traversée de la gare de la Villette, 60 rails en acier Bessemer et 60 rails en fer, alternés par groupes de 6 rails.

Au mois de mars 1872, tous ces rails avaient subi une circulation d'environ 29 millions de tonnes brutes; 31 des 60 rails en fer étaient déjà hors de service depuis plus ou moins longtemps, et l'altération des 29 autres ne permettait pas d'assigner à l'ensemble une résistance moyenne supérieure à 24 millions de tonnes brutes; ces rails en fer étaient cependant de très-bonne qualité.

Les rails d'acier soumis à la même fatigue n'ont subi d'autre altération qu'une usure très-régulière qu'on a mesurée exactement en prenant leurs empreintes à la cire. Cette usure correspond à un millimètre par 26 millions de tonnes sur les points où la circulation a lieu dans les conditions normales. Elle est notablement plus rapide sur ceux où les freins agissent constamment, mais la durée des rails d'acier y sera encore considérable.

La compagnie de l'Est a fait aussi des expériences qui ont confirmé en tous points celles de la compagnie du Nord, sur les résistances comparées des rails en acier et en fer. Elles se résument comme il suit :

A la flexion, l'élasticité des rails en fer commence à s'altérer sous un moment correspondant à moins de 25 kilogrammes par millimètre carré, et leur module d'élasticité E est égal à $14,3 \times 10^9$. La résistance des rails d'acier jusqu'à la limite d'élasticité s'élève à 38 kilogrammes, soit une fois

et demie celle des rails en fer, et leur module d'élasticité est égal à $18,4 \times 10^9$.

Presque tous les rails en fer se rompent sous un moment inférieur à 8,250 kilogrammes; tandis que les rails en acier résistent tous à 9,500 kilogrammes, le plus grand moment qu'on pouvait obtenir avec l'appareil d'épreuve.

Au mouton de 300 kilogrammes tombant sur le rail au milieu de l'intervalle de deux points d'appui espacés de $1^m,10$, la hauteur moyenne de rupture des rails en fer est de $1^m,60$. Celle des rails d'acier dépasse $4^m,60$; la plupart de ces rails n'ont pu être rompus sous une chute de 5 mètres, la plus grande qu'on pût obtenir avec l'appareil. Cependant les rails d'acier soumis à l'épreuve reposaient sur une enclume en fonte de 10,000 kilogrammes, tandis que les rails en fer étaient supportés par un châssis en bois fixé sur maçonnerie.

Il est donc certain que le rapport des résistances à la flexion, des rails en acier et en fer de même section, est égal à 1,5 jusqu'à la limite d'élasticité, et que celui des résistances à la rupture par choc est beaucoup plus élevé encore.

Ces considérations ont amené la compagnie de l'Est à étudier un type de rails en acier Bessemer de section réduite, comme l'avait fait avant elle la compagnie du Nord. Le nouveau rail d'acier de la compagnie de l'Est pèsera 30 kilogrammes par mètre et ne différera que très-peu de celui du Nord. Les joints seront éclissés en porte à faux, et la barre de 6 mètres de longueur reposera sur six traverses intermédiaires espacées de $0^m,90$ d'axe en axe. Le glissement longitudinal sera combattu par une pièce spé-

ciale butant contre l'éclisse; cette disposition permettra de ne pas encocher le patin du rail.

Les considérations qui viennent d'être résumées ont été soumises à l'Administration supérieure, et par un décret en date du 18 janvier dernier, la compagnie de l'Est a été autorisée à faire usage sur son réseau de rails en acier du poids de 30 kilogrammes par mètre. La fabrication de ces rails n'étant pas encore commencée, la compagnie de l'Est ne peut en exposer un échantillon.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI.

La compagnie du Midi emploie, sur les sections les plus fréquentées de son réseau, les rails d'acier.

Ces rails, fabriqués soit par le procédé Bessemer, soit par le procédé Martin, sont fournis par les diverses usines françaises qui ont monté les appareils nécessaires à ces systèmes de fabrication, savoir : Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Firminy et Commentry.

Sauf de rares exceptions, les rails d'acier, employés sur le réseau du Midi, sont tous du système à double champignon, et leur forme ne diffère pas de celle en usage pour les rails ordinaires.

Longueur du rail	$5^{m},30$
Écartement des traverses de contre-joint	0 ,60
Écartement des traverses intermédiaires	0 ,98
Rail en acier Martin provenant des usines de la Société anonyme des forges et aciéries de Firminy. — Fabrication de 1872	$38^{k},000$

(La compagnie a, en outre, employé des rails de même

profil en acier Bessemer provenant des usines de Terre-Noire et de Bessèges.)

Coussinets provenant de l'usine de Marquise (Pas-de-Calais). — Fabrication de 1869. — Poids d'un coussinet..... $10^k,200$

Chevillettes fabriquées à l'usine Dervaux, à Vieux-Condé (Nord), en 1872. — Poids d'une chevillette..... $0^k,440$

Coins fournis par M. Bastiat, de Dax (Landes). — Fabrication de 1872. — Poids d'un coin..... $0^k,900$

Éclisses provenant de l'usine d'Alais. — Fabrication de 1873. — Poids de la paire..... $9^k,100$

Boulons d'éclisses, fabriqués par l'usine de M. Vankalck, près Valenciennes, en 1873. — Poids d'un boulon..... $0^k,445$

Rail Brunel creux en acier Bessemer pour plaque tournante, provenant de l'usine de Terre-Noire (Loire). — Fabrication de 1870. — Poids du mètre courant..... $34^k,500$

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU NORD.

Profil adopté. — La compagnie du Nord a adopté pour tout son réseau un rail en acier du type Vignole pesant $30^k,300$ par mètre. Ce rail est fourni indistinctement par toutes les usines françaises; en ce moment il est laminé dans les établissements de Terre-Noire et dans ceux de la Société des forges du Creusot.

Longueur des barres. — Sa longueur normale est de 8 mètres, mais on admet dans les commandes, pour faciliter la fabrication, des longueurs réduites, qui sont de 7 mètres, de 6 mètres et de 5 mètres.

Traverses et éclisses. — Ce rail est posé avec traverses aux joints, et il est supporté en neuf points présentant les

écartements suivants : $0^m,60$ près des joints, $0^m,90$ pour les parties contiguës, et 1 mètre pour toutes les parties intermédiaires. Sur une même file de rails, les barres sont reliées l'une à l'autre au moyen d'éclisses percées, pour le passage des boulons, de quatre trous de $0^m,019$ de diamètre; elles reposent directement sur les traverses dans des entailles préparées pour cet objet, et sont fixées sur celles-ci au moyen de deux tire-fonds en fer galvanisé pour les traverses intermédiaires, et de quatre tire-fonds pour celles de joints. Les tire-fonds sont serrés contre le patin, que l'on évite de percer et d'encocher sur sa longueur.

Les raisons qui ont arrêté le choix de ce type de rail peuvent se résumer comme il suit :

Avantages de l'acier. — Le premier avantage des rails en acier sur les rails en fer résulte de ce qu'ils s'usent parallèlement et avec lenteur, tandis que les meilleurs rails en fer se détériorent sous l'influence de la circulation, et se trouvent la plupart du temps hors de service avant d'avoir perdu, par une usure régulière, une notable partie de leur poids. Les expériences faites par la compagnie du Nord sur des rails en fer de toutes provenances ont démontré que les meilleurs d'entre eux ne résistaient pas, sur son réseau, à une circulation de plus de 20 millions de tonnes; pour ceux de qualité ordinaire ce chiffre ne dépasse même pas 14 millions. Pour les rails en acier, tous les essais faits démontrent que leur champignon s'use uniformément d'un millimètre d'épaisseur pour une circulation de 20 millions de tonnes, et comme ces rails sont étudiés en vue d'une usure de 10 millimètres, on peut estimer que la durée des

rails en acier répondra à une circulation d'au moins 200 millions de tonnes; c'est-à-dire que leur durée dépassera dix fois celle des meilleurs rails en fer. La substitution des rails en acier aux rails en fer correspond donc à une notable économie d'entretien, en même temps qu'elle assure à la voie une résistance plus égale et qu'elle accroît, dans une forte mesure, la sécurité de l'exploitation.

Le deuxième avantage des rails en acier sur les rails en fer résulte de ce qu'ils sont laminés avec une matière offrant une résistance plus régulière et de beaucoup supérieure à celle composant ces derniers. Des expériences faites pour comparer les deux matières, il résulte en effet : qu'aux essais à la pression les rails en fer conservent des déformations permanentes sensibles, dès que les compressions et tensions des fibres atteignent 17 à 18 kilogrammes par millimètre carré; pour les rails en acier ce chiffre dépasse 38 kilogrammes. Aux essais de traction directe, la matière composant les champignons des rails en fer de bonne qualité est caractérisée par une résistance à la rupture comprise entre 28 et 36 kilogrammes par millimètre carré; pour les rails en acier ce chiffre est compris entre 65 et 75 kilogrammes. Enfin les rails en fer essayés, au choc, à l'appareil dit *du chemin de fer de Lyon*, ne résistent pas en moyenne à une puissance vive dépassant 400 kilogrammètres; pour les rails en acier, du type considéré, cette résistance dépasse 900 kilogrammètres. La matière composant les rails en acier peut donc être caractérisée ainsi : elle offre plus de garanties comme régularité des produits, sa résistance vive élastique et sa résistance vive de rupture sont au moins le double de celles des matières composant les rails en fer.

L'avantage de la substitution de rails en acier aux rails en fer est donc évident si la dépense de premier établissement ne vient pas opposer à cette substitution une raison pécuniaire; or, aux cours actuels, en profitant des différences de résistances des matières, on peut réduire à 30 kilogrammes le poids des rails, tout en leur laissant une solidité supérieure à celle des rails en fer qu'ils remplacent; et l'on arrive non-seulement à réduire l'excédant de dépense, mais encore à rendre la pose des rails en acier plus économique que celle des rails en fer.

Détail du profil. — Les conditions qu'on s'est attaché à remplir, et qui ont conduit aux formes représentées par le profil et par les échantillons joints à la présente note, sont les suivantes :

Conserver la hauteur du rail de 37 kilogrammes en fer, ainsi que l'étendue et l'inclinaison des portées de l'éclisse et le bombement du champignon qui avaient donné de bons résultats en service;

Donner à l'usure le plus de marge possible et, dans ce but, accumuler la matière sur le champignon en réduisant l'épaisseur de l'âme, l'épaisseur et la largeur du patin, autant qu'on peut le faire, sans rendre la fabrication difficile et sans exagérer le rapport de la hauteur du rail à la largeur de sa base.

Théoriquement, au moment du maximum d'usure, le profil aurait dû être tel que le travail des fibres les plus fatiguées du champignon et du patin fût le même; cela nous aurait conduit à un patin un peu trop étroit et un peu trop mince pour l'appui sur les traverses et pour le laminage. Dans le profil adopté, l'égalité des efforts d'extension et de

compression se réalise après une usure de 5 millimètres, mais à cet instant le rail n'est pas assez affaibli pour ne pas pouvoir être maintenu en service, et après l'usure d'une nouvelle épaisseur de 5 millimètres sa résistance est encore supérieure à celle du rail neuf en fer de 37 kilogrammes.

Stabilité du rail. — C'est seulement à l'égard de la stabilité sur sa base que le nouveau type peut être regardé comme plus hardi que l'ancien. La mesure de ce genre de hardiesse est donnée par le rapport de la hauteur à la base; or, ce rapport, qui est de $\frac{125}{105}$ ou 1,19 pour le rail de 37 kilogrammes, s'élève à 1,288 pour le rail d'acier de 30 kilogrammes. Mais il y a lieu de remarquer que pour le rail type Vignole, en fer, employé par la compagnie de Lyon, ce rapport s'élève à 1,30, et que pour la ligne de Cologne à Minden ce rapport est de 1,356. D'ailleurs le rail ne tend pas, comme on l'a cru d'abord, à se renverser vers l'extérieur de la voie, sous les pressions latérales qu'il subit de la part des rebords des roues, il tend plutôt à être chassé de côté; les tire-fonds extérieurs et l'inclinaison donnée à l'entaille de la traverse suffisent pour corriger cette tendance. Une autre conséquence de ces poussées est d'augmenter la pression exercée par le patin du rail contre la traverse du côté vers lequel se produit le mouvement transversal des roues; or, l'expérience acquise, depuis plus de deux ans que ce rail est en service sur le réseau du Nord, démontre bien que cette plus grande pression ne dépasse pas les limites que peuvent supporter les traverses. Il est donc certain que la diminution des dimensions latérales du type primitif de 37 kilogrammes laisse encore le

rail dans d'excellentes conditions de stabilité sous son patin.

Qualité de la matière. — Ces résultats de calculs et ces résultats d'observations s'appliquent à une qualité d'acier caractérisée par une certaine dureté et une résistance déterminée, que les usines françaises fabriquent couramment. Cette qualité est caractérisée par des essais qui sont stipulés dans le cahier des charges de la compagnie et qui sont résumés comme il suit :

1re épreuve (a la pression). — Chaque rail, soumis à l'essai, placé de champ sur deux points d'appui espacés de $1^{m},10$, devra supporter pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui :

1° Une pression de 17,000 kilogrammes, sans conserver de flèche permanente sensible après l'épreuve;

2° Une pression de 30,000 kilogrammes, sans dépasser une flèche de 25 millimètres.

2e épreuve (au choc). — Chacune des deux moitiés de barre cassée, placée de champ sur deux supports espacés de $1^{m},10$, lesquels seront fixés sur une enclume de 10,000 kilogrammes, devra supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de $2^{m},25$ de hauteur, sur la barre, au milieu de l'intervalle des points d'appui.

Sous des hauteurs de chute successives de.....	$1^{m},00$	$1^{m},50$	$2^{m},00$	$2^{m},25$
Les flèches prises ne devront pas s'écarter sensiblement de.....	1^{mm}	$3^{mm}\frac{1}{2}$	8^{mm}	18 à 20^{mm}

Essai de pose nouvelle. — Enfin on essaye en ce moment un nouveau système de pose qui consiste à ne plus mettre les deux joints sur une même traverse, mais à les placer sur deux traverses voisines.

Bien que cette nouvelle pose ne soit pas appliquée depuis assez longtemps pour être jugée par l'expérience, on croit pouvoir compter qu'elle donnera un roulement plus doux que la pose à joints correspondants; en effet, les chocs dus au passage des deux joints n'étant plus simultanés, leur action sur le mouvement de la voiture est atténuée par ce seul fait.

La rudesse même de chacun de ces chocs est adoucie par les circonstances suivantes :

1° La traverse de joint, au lieu d'être sollicitée au déversement à chacune de ses extrémités, est, au contraire, maintenue à l'une d'elles par la pression du rail continu qu'elle supporte;

2° La traverse recevant des secousses moins violentes conserve mieux le bourrage;

3° Le joint venant à céder au passage d'une roue, la voiture soutenue par les trois autres roues n'est pas libre de suivre le mouvement.

COMPAGNIE DE L'OUEST.

La compagnie de l'Ouest emploie des rails en acier sur les lignes de son réseau où la circulation est le plus importante. Les rails employés jusqu'à ce jour ont été fournis

par les usines françaises, savoir : Niederbronn, Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Firminy et Commentry; ils ont été fabriqués par les procédés Bessemer et Martin; une petite quantité, à l'origine, a été fabriquée avec de l'acier fondu au Creusot.

La longueur de voie simple posée avec des rails d'acier s'élevait, au 31 décembre 1872, à 234 kilomètres.

A l'exception des rails Vignole employés sur les grands ouvrages métalliques, les rails en acier sont du type à double champignon et ont le même profil que les rails en fer.

Leur poids moyen est de $38^{k},75$ par mètre courant, soit 1 kilogramme de plus que les rails en fer qui pèsent $37^{k},75$.

Les rails ont 6 mètres de longueur et sont éclissés en porte à faux; les éclisses employées avec les rails en acier sont également en acier.

Les rails reposent, avec intermédiaire de coussinets en fonte, sur huit traverses, par longueur de 6 mètres. La division des portées est indiquée comme il suit :

Le premier coussinet est placé à 30 centimètres de l'extrémité du rail;

Le second coussinet est placé à 70 centimètres du premier;

Et tous les autres sont placés à 80 centimètres les uns des autres, d'axe en axe.

Les coussinets en fonte pèsent 15 kilogrammes et présentent une surface de base de 482 centimètres carrés.

L'attache des coussinets se fait au moyen de deux tire-fonds dans les parties de voies en ligne droite; dans les parties en courbe, cette attache se fait au moyen de trois

tire-fonds pour la file de rails qui se trouve sur le grand rayon; de là, deux modèles différents de coussinets.

CHEMINS DE FER DE PARIS À LYON ET À LA MÉDITERRANÉE.

Dès l'année 1867, la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée s'était décidée à ne plus employer que des rails en acier au renouvellement de ses voies, sur les 860 kilomètres de la ligne de Paris à Marseille, où la fréquentation dépasse le chiffre de 10,000 trains par année, sur chaque voie, avec des vitesses qui peuvent atteindre jusqu'à 90 kilomètres à l'heure.

Au 1er janvier 1873, la longueur des portions renouvelées atteignait déjà 940 kilomètres de voie simple.

Disposition de la voie rail PM. — Le rail exposé (modèle PM) pèse 38k,850 le mètre; la section ne diffère du rail en fer (mod. PLM), employé sur toutes les lignes nouvelles du réseau de la Méditerranée, que par l'épaisseur de l'âme réduite de 16 à 14 millimètres, et par la largeur du patin portée de 100 à 130 millimètres.

Les formes du champignon et du patin ayant, dans l'un et l'autre type, même écartement et même inclinaison, se prêtent à l'emploi d'une seule et même éclisse.

La longueur normale du rail est de 6 mètres, et les rails sont posés dans la voie courante sur huit traverses intermédiaires, avec les joints en porte à faux.

Éclissage. — Chaque joint est consolidé par deux éclisses

en fer à quatre trous, reliées entre elles par quatre boulons à deux ergots, en fer, de 25 millimètres de diamètre. Une broche en fer enfilée dans une rainure que forme un évidement ménagé, d'une part, sur la partie médiane de l'éclisse, d'autre part, sous la face inférieure de l'écrou, empêche le desserrage de cet écrou.

Mode d'attache. — Le rail est fixé sur chaque traverse :

1° A l'intérieur de la voie, par une chevillette à deux becs, qui est placée dans un trou percé dans le patin du rail et qui s'oppose au glissement du rail dans le sens de la voie, en même temps qu'au renversement ;

2° A l'extérieur de la voie, par un crampon à un bec.

Fabrication. — Les rails PM sont fabriqués dans les usines du Creusot, de Terre-Noire et de Bességes, soit en acier Bessemer, soit en acier Martin.

Quel que soit le mode de fabrication, les rails résistent facilement aux conditions d'épreuve ci-après résumées; les résultats ne diffèrent pas sensiblement; cependant, dans certaines usines, l'acier Martin paraît un peu plus dur que l'acier Bessemer et dans d'autres, au contraire, l'avantage est à l'acier Bessemer.

Épreuves pour la réception. — Un pour cent des rails fabriqués sont soumis, lors de la réception dans les usines, aux épreuves suivantes :

1° Chaque barre placée de champ sur deux points d'appui espacés d'un mètre doit supporter pendant cinq minutes, au milieu de l'intervalle des points d'appui, une pression

de 25 tonnes, sans conserver de flèche sensible après l'épreuve.

2° La même barre, dans la même position, doit supporter pendant cinq minutes, sans se rompre, une charge de 40 tonnes; on augmente ensuite la pression jusqu'à rupture.

3° Chacune des moitiés de la barre placée sur deux points d'appui espacés de $1^{m},10$ doit supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de 2 mètres de hauteur, au milieu de l'intervalle.

4° Une rognure franche de 70 centimètres de longueur est choisie dans chaque coulée : elle doit supporter sans se rompre, étant placée sur deux appuis espacés de 50 centimètres, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes tombant de $1^{m},50$ de hauteur.

Résultats obtenus avec l'acier. — Les espérances fondées en 1867 sur la durée du métal se trouvent aujourd'hui complétement justifiées par l'expérience.

On n'observe sur les rails employés depuis plus de cinq ans aucune déformation, mais seulement une usure dont l'uniformité atteste la parfaite homogénéité du métal.

Plusieurs sections d'essai ont été vérifiées après le passage de 40,000 trains. L'usure constatée est de $\frac{8}{10}$ de millimètre ($0^{m},0008$) mesurée dans le sens vertical, soit 1 millimètre pour 50,000 trains. Comme le champignon du rail PM peut, sans être trop affaibli, être recoupé, ou s'user uniformément de 10 millimètres et plus, on est en droit de supposer qu'il faudra le passage de 500,000 trains pour mettre les rails en acier hors de service.

Pour faire la part des accidents et des chances d'erreur, si l'on admet seulement 400,000 trains comme chiffre limite, et si d'autre part l'on considère que la durée moyenne des rails en fer correspond, dans les mêmes conditions, au passage de 80,000 trains, on arrive à cette conclusion que les rails en acier peuvent être considérés comme devant durer au moins cinq fois autant que ceux en fer.

Rails brisés. — La moyenne des rails brisés en service et qu'il a fallu retirer des voies est de un rail par 15 kilomètres de voie, et par année. Les ruptures, s'étant produites, pour la plupart, dès les premiers jours de l'emploi du rail, doivent être attribuées le plus souvent à un défaut de fabrication. Quand ils ont résisté quelques mois, les rails en acier peuvent être considérés comme étant à l'abri de tout accident : on peut dire qu'ils ne cassent plus.

Prix de revient. — Un kilomètre de voie PM coûte :

1° Avec l'acier à 280 francs la tonne

(Cours de septembre 1869).

77,700 kilogrammes de rails	21,656f 00c
666 éclisses (poids : 5k,30) à 180f la tonne	635 36
1,332 boulons (poids : 0k,70) à 350f la tonne	326 34
2,664 chevillettes (poids : 0k,41) à 275f la tonne	300 76
2,664 crampons (poids : 0k,39) à 275f la tonne	285 70
Total	23,204f 16c

2° Avec l'acier à 400 francs la tonne

(Cours de janvier 1873).

77,700 kilogrammes de rails	31,080f 00c
666 éclisses à 340f la tonne	1,200 13
1,332 boulons à 500f la tonne	466 20
2,664 chevillettes à 445f la tonne	486 04
2,664 crampons à 445f la tonne	462 83
Totaux	33,695f 20c
	23,204 16
Plus-value en 1873	10,491f 04c

Les échantillons exposés proviennent des usines ci-après désignées :

Une barre de 1m,50, mod. PM, en acier Bessemer, montrant cassure à l'une des extrémités, provient de l'usine du Creusot.

Une barre de 750 millimètres, mod. PM, en acier Bessemer, ainsi qu'une barre de même type en acier Martin, montrant cassure à l'un des bouts et assemblées à l'éclissage, proviennent de l'usine de Bességes.

Les éclisses ont été fabriquées à l'usine d'Ancy-le-Franc.

Les boulons d'éclisses, ainsi que les crampons et chevillettes, ont été fabriqués à Paris, chez Mme veuve Loiseau.

COMPAGNIE D'ORLÉANS.

La compagnie d'Orléans emploie, sur les sections les plus fréquentées de son réseau, des rails d'acier.

Ces rails, fabriqués soit par le procédé Bessemer, soit par le procédé Martin, sont fournis par les diverses usines françaises qui ont monté les appareils nécessaires à ces systèmes de fabrication, savoir : Imphy, le Creusot, Terre-Noire, Firminy et Commentry.

Sauf de rares exceptions, les rails d'acier, employés sur le réseau d'Orléans, sont tous du système à double champignon et leur forme ne diffère pas de celle en usage pour les rails ordinaires.

Le poids du rail, par mètre linéaire, qui est de 36 kilogrammes pour les rails en fer, est un peu supérieur pour les rails d'acier, à cause de la différence de densité des deux métaux, et peut être évalué moyennement à 37 kilogrammes.

Les rails ont $5^{m},50$ de longueur; ils sont éclissés en porte à faux et reposent, par l'intermédiaire de coussinets en fonte, sur six traverses en chêne : ce qui donne un espacement moyen de traverses de $\frac{5^{m},50}{6}$ ou 916 millimètres.

Le coussinet pèse $9^{k},50$ et présente une surface de base de 324 centimètres carrés.

VIII.

COLLECTION DE TYPES LITHOGRAPHIÉS

DU MATÉRIEL FIXE ET DU MATÉRIEL ROULANT

ADOPTÉS

PAR LES PRINCIPALES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER FRANÇAIS.

Un portefeuille de dessins.

Les grandes compagnies de chemins de fer avaient exposé, en 1867, la réunion des types les plus usités de leur matériel fixe et de leur matériel roulant, à cette époque.

Cette collection, tenue chaque jour au courant des modifications apportées par l'expérience, constitue un recueil usuel de dessins lithographiés qui a le mérite de donner exactement l'état actuel du matériel des principales compagnies.

On a pensé qu'il y aurait intérêt à faire connaître ainsi les changements survenus depuis six années, et à appeler l'attention des hommes spéciaux sur les améliorations nécessitées par le développement du réseau français.

IX.

ENDIGUEMENT DE LA SEINE MARITIME.

CARTE HYDROGRAPHIQUE DE LA BAIE DE SEINE
DE QUILLEBOEUF À LA MER, EN 1872.

Échelle de $\frac{1}{40000}$ (1 centimètre pour 400 mètres).

Exposé. — Les travaux d'endiguement de la Seine maritime ont figuré à l'Exposition universelle de 1867. Les pièces présentées alors comprenaient le plan général du fleuve de Rouen à la mer (échelle $\frac{1}{60,000}$) et un profil en long.

Fidèle au programme qu'il s'est imposé, le Ministère des travaux publics ne reproduit rien de ce qui a été déjà exposé. On présente seulement aujourd'hui une carte hydrographique levée en 1872, qui figure, avec de grands détails, l'état actuel de la baie de Seine à la suite des derniers travaux. On se bornera, en conséquence, à indiquer brièvement ce qui a été fait depuis quatre années; et à expliquer comment les résultats déjà réalisés par ces travaux ont engagé à les suspendre momentanément en aval, en portant les efforts sur la réparation des ouvrages exécutés antérieurement, et sur la suppression des lacunes subsistantes entre la Meilleraye et Villequier.

Travaux. — Au 1er janvier 1867, les digues avaient été prolongées au nord et au sud jusqu'à l'embouchure de la

Risle; elles furent achevées dans cette campagne de 1867, et leur prolongement en aval de cette embouchure fut ordonné, mais seulement au sud, sur une longueur de 2,000 mètres. On se proposait principalement de fixer définitivement l'embouchure de la Risle et d'enraciner la digue du sud en la raccordant avec la côte. Ces travaux ont été exécutés, et leur achèvement en 1871 marque la limite aval des travaux approuvés.

Leur effet a été des plus satisfaisants. Le chenal s'est maintenu au nord pendant cinq années dans des conditions favorables à la navigation. En 1872, il a passé au sud en conservant des profondeurs convenables pour les grands navires qui fréquentent le port de Rouen.

On s'est occupé depuis 1866 de réparer les dégradations des digues et de supprimer les lacunes subsistantes dans la partie du fleuve entre la Meilleraye et Villequier. L'amélioration principale consiste dans l'abaissement du banc tourbeux des Meules, qui est le haut fond le plus élevé de la Seine maritime entre Rouen et la mer; cette amélioration a été poursuivie par l'endiguement du fleuve et par l'emploi simultané de la drague. Les travaux sont très-avancés et l'amélioration sera réalisée dans la campagne de 1873.

Ces travaux de construction de digues en enrochements ont été exécutés d'après les procédés anciennement employés dans le service. Toutefois, par un motif d'économie, on a couronné la digue du sud, entre la Meilleraye et Caudebec, à 1 mètre au-dessus du niveau des basses mers de vive eau. Les matériaux d'enrochement formant la partie supérieure de la digue ont été arrimés soigneusement suivant une surface convexe continue, et le succès a répondu à ce qu'on

attendait. Ce même procédé d'arrimage a été appliqué avec le même avantage à la réparation des digues basses en aval de Tancarville.

Dans les travaux de réparations des digues hautes et des perrés, on a établi au pied des ouvrages des surfaces peu inclinées formées de matériaux bien arrimés, et défendus par une ligne de pieux moisés au niveau des basses mers.

Dépenses. — Le tableau ci-dessous donne le résumé des dépenses faites depuis le 1er janvier 1867.

ANNÉES.	DÉSIGNATION DES TRAVAUX.				TOTAUX.
	PROLONGEMENT des digues en aval.	TRAVAUX d'endiguement entre la Meilleraye et Villequier.	TRAVAUX de dragage du banc des Meules.	RÉPARATIONS des digues et des chemins de halage.	
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1867...	74,360 40	28,086 90	"	68,800 00	171,247 30
1868...	77,390 16	"	"	54,000 00	131,390 16
1869...	56,141 81	"	"	147,709 69	205,851 50
1870...	84,264 89	29,757 77	16,213 82	136,508 34	266,744 82
1871...	69,808 05	83,458 24	9,607 72	194,202 59	357,076 60
1872...	"	226,404 95	61,134 17	198,688 24	486,227 36
Totaux..	363,965 31	367,707 86	86,955 71	799,908 86	1,618,537 74

Le montant total des dépenses faites, depuis le 1er janvier 1867 jusqu'au 31 décembre 1873, est ainsi de 1,618,537 fr. 74 cent.; si on y ajoute le chiffre antérieur des dépenses au 31 décembre 1866, soit : 13,570,572 fr. 11 cent., on a pour le total des dépenses depuis l'origine des travaux 15,189,109 fr. 85 cent.

Résultats des travaux. — Le succès des travaux était déjà bien accusé en 1867; il s'est maintenu et confirmé depuis cette époque. Le chenal de la baie est resté fixé au nord depuis le commencement de l'année 1866 jusqu'à la fin de l'année 1871. Si l'on consulte la carte de cette époque, représentant la baie au printemps de 1871, on voit qu'à la sortie des digues le chenal abandonnait la rive sud de la baie. Il se dirigeait vers la pointe du Hoc, et longeant le banc des Neiges il gagnait ensuite les fonds de la rade du Havre. Son tracé composé de grandes courbes était très-régulier; son profil ne changeait pas sensiblement; le point le plus haut du chenal était à la cote $105^{m},02$ [1], soit à $5^{m},36$ en contre-bas des hautes mers de morte eau au Havre. Il était placé par le travers de la vallée d'Oudalle. Entre ce point et les Neiges, le fond se maintenait à une profondeur un peu plus grande; au delà des Neiges, le chenal s'approfondissait jusqu'à la rade du Havre. A l'entrée des digues et à leur intérieur, les variations du fond étaient insignifiantes; la profondeur était considérable. Le point le plus haut du chenal entre Quillebœuf et l'extrémité aval des digues se trouvait en aval de Tancarville, à la cote $106^{m},54$, soit à 7 mètres au-dessous du niveau des hautes mers de morte eau.

Le déplacement du chenal se produisit dans la baie pendant l'hiver de 1871-1872; il abandonna la rive nord de la baie et vint passer entre Amfard et Ratier, en suivant un tracé d'une régularité remarquable. Ce mouvement se pré-

[1] Toutes les ordonnées sont rapportées au même plan supérieur de comparaison que le nivellement général de la ville de Paris. Le niveau moyen de la mer au Havre est à la cote $101^{m},314$ en contre-bas de ce plan.

para peu à peu, et s'opéra avec une grande lenteur; la carte de la baie relevée en 1871 l'avait fait pressentir clairement, et la transition se fit avec une telle facilité que la navigation put encore suivre quelque temps le chenal du nord, tandis que le nouveau chenal était complétement établi.

La carte de 1872 représente la baie dans ce nouvel état dont la fixité paraît devoir égaler celle de la position antérieure. Le chenal conserve une profondeur considérable jusqu'au delà de Honfleur; il ne s'approche pas toutefois assez de ce port pour le soustraire à l'envasement qui le gagne; le fond se relève par le travers de Graville et atteint la cote $104^{m},30$, soit $5^{m},64$ au-dessous des hautes mers moyennes de morte eau au Havre. C'est le point le plus élevé du chenal; en aval, on atteint rapidement, par de grandes profondeurs, les fonds de 10 mètres de basse mer. Depuis l'extrémité des digues jusqu'à Tancarville, la cote la plus élevée du chenal est $106^{m},40$, soit $6^{m},74$ en contre-bas des pleines mers de morte eau au Havre.

En amont de Quillebœuf, le plus haut fond de la Seine maritime est le banc tourbeux des Meules, dont la cote entièrement fixe est 104 mètres, soit de $1^{m},30$ supérieure au seuil de la baie coté $105^{m},30$. Il résulte des notes du service que la profondeur d'eau de pleine mer au banc des Meules a varié pendant un semestre de 1872, soit 182 jours, comme il suit : le maximum a été $6^{m},55$, le minimum $4^{m},08$; pendant 19 jours, la profondeur a été inférieure à $4^{m},50$; pendant 40 jours, elle a été inférieure à 5 mètres et supérieure à $4^{m},50$; pendant 123 jours, elle a varié de 5 mètres à $6^{m},55$.

La navigation a profité largement de ces améliorations.

En 1867, on citait l'arrivée à Rouen d'un navire hambourgeois de 650 tonneaux et calant $4^{m},60$. Aujourd'hui nous avons à citer un navire anglais, le *Lottie*, calant $5^{m},19$, et ayant un chargement de 1,305 tonneaux, qui est entré au port de Rouen, en janvier 1873. Enfin, les navires de 1,000 tonneaux et de 5 mètres de tirant d'eau peuvent aujourd'hui, en vive eau, remonter couramment la Seine jusqu'au port de Rouen; et, lorsque le banc des Meules aura été abaissé de 1 mètre, les navires de 6 mètres de tirant d'eau pourront venir à Rouen à toutes marées.

On ne doit pas terminer cette notice sans dire quelques mots de l'état actuel de la barre de flot ou mascaret qui se produit dans le fleuve en vive eau, au moment de la marée montante.

Ce phénomène singulier a encore persisté pendant la période 1867-1872; et si son intensité paraît en ce moment un peu diminuée, principalement en aval, aucun fait précis ne peut expliquer bien rationnellement la cause de cette décroissance.

Cependant, par suite de l'approfondissement général du lit du fleuve, l'arrivée du flot n'est plus à redouter pour la sécurité de la navigation; et le mascaret n'est funeste que sous le rapport de la corrosion des rives et de la dégradation des ouvrages.

Les ingénieurs qui ont pris part à l'amélioration de la Seine maritime depuis 1848 jusqu'en 1869 sont : MM. Doyat, Beaulieu, Emmery, du Boulet, ingénieurs en chef des ponts et chaussées, et MM. Partiot et Godot, ingénieurs ordinaires; la surveillance des travaux a été principalement confiée à M. le conducteur Sadlucki.

Depuis 1869, le service de la Seine maritime est dirigé par M. J. Lemaître, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et par M. C. Alard, ingénieur ordinaire.

L'hydrographie de la carte exposée a été relevée sur le terrain, par M. le conducteur Roquancourt, qui s'est acquitté de cette tâche difficile avec autant de mérite que de dévouement.

X.

NAVIGATION ENTRE PARIS ET AUXERRE.

SUBSTITUTION D'UNE NAVIGATION CONTINUE, SUR LA HAUTE-SEINE ET SUR L'YONNE, À L'AIDE DE BARRAGES MOBILES, A LA NAVIGATION INTERMITTENTE PRODUITE PAR LES ÉCLUSÉES DE L'YONNE[1].

Dessins à des échelles variant de $0^m,000025$ à $0^m,5$.

Quatre modèles à l'échelle de $0^m,10$.

La grande voie navigable qui relie le Havre, Rouen et Paris à Lyon et à Marseille, par les rivières de la Seine et de l'Yonne, par le canal de Bourgogne et par les rivières de la Saône et du Rhône, présentait, jusqu'au mois de septembre 1871, de Paris à Laroche, où le canal de Bourgogne débouche dans l'Yonne, une partie défectueuse, une véritable lacune de 190 kilomètres de longueur. En effet, pendant huit ou neuf mois de l'année, de mars à novembre, la descente des embarcations chargées n'était possible, spécialement sur l'Yonne, que deux fois par semaine, avec le secours des éclusées ou flots venant de la haute Yonne, et

[1] On appelle éclusées, sur la rivière d'Yonne, des crues factices produites par la fermeture et le débouchage régulier et successif des pertuis et barrages établis sur son cours, lesquelles crues entraînent les embarcations de toute sorte, trains, bateaux, équipes de vin, destinées à l'approvisionnement de Paris.

avec un tirant d'eau ne variant que de 75 centimètres à 1 mètre et à $1^{m},10$ au plus; de sorte que les bateaux du canal de Bourgogne, chargés de $1^{m},10$ à $1^{m},40$, étaient obligés de rompre charge à Laroche. Quant aux embarcations ascendantes, elles étaient généralement vides ou portaient seulement quelques tonnes de marchandises. Cette navigation coûteuse, lente et tout à fait insuffisante, était accompagnée de grandes fatigues, de dangers et d'accidents nombreux. Quoique un peu moins difficile sur la Seine, la navigation était extrêmement gênée et souvent entravée entre Montereau et Paris.

Depuis le 1er septembre 1871 la navigation est continue de Laroche à Paris, grâce au fonctionnement de dix-sept barrages mobiles construits sur l'Yonne, de deux dérivations latérales à cette rivière et de douze barrages mobiles établis sur la Seine. Le tirant minimum d'eau dans les biefs est de $1^{m},60$; aussi les embarcations peuvent circuler en toute sécurité dans les deux sens avec un tirant de $1^{m},20$ à $1^{m},50$. Jusqu'ici, à cause de la transition, la plupart des chargements, surtout ceux qui viennent du canal du Nivernais, ne dépassent pas $1^{m},20$ de tirant; mais, quand les huit barrages mobiles et la dérivation, en construction entre Laroche et Auxerre, seront achevés (ce qui aura lieu à la fin de cette année 1873), les grands avantages qu'a eus en vue l'Administration, et qu'attend le commerce, seront heureusement réalisés.

Pour bien faire comprendre toute l'importance de l'amélioration apportée par l'application en grand des barrages mobiles sur l'Yonne et sur la Seine, en amont de Paris, il est nécessaire d'exposer avec quelques détails le mode de

flottage et de navigation usité jusqu'ici sur les parties hautes de ces deux cours d'eau. Il est naturel de commencer cette description par la rivière d'Yonne, qui est le principal affluent de la Seine, à cause de la grande surface de son bassin, du volume de ses eaux et de l'importance de son tonnage.

RIVIERE D'YONNE.

La rivière d'Yonne qui, depuis sa source dans le Morvan jusqu'à son embouchure à Montereau, traverse les trois départements de la Nièvre, de l'Yonne et de Seine-et-Marne, sur un parcours de 293,280 mètres, peut se diviser en trois parties distinctes[1] suivant le mode de transport pour lequel ses eaux sont utilisées.

La première partie, longue de 97,974 mètres, s'étend de la source, voisine des étangs de Belleperche, jusqu'à

[1] Désignation des parties :

DÉSIGNATION des PARTIES.	LONGUEURS.	LARGEUR MOYENNE du lit.	PENTE MOYENNE à l'étiage.	DEBIT	
				À L'ÉTIAGE.	EN CRUE.
1re PARTIE.	mètres.	mètres.	mètres.	mèt. cub.	mèt. cub.
De la source au village d'Armes.	97,974	5 à 30	0,005915	1 à 1,50	60 à 80
2e PARTIE.					
D'Armes à Auxerre.....	75,720	35 à 50	0,000686	5 à 8	150 à 250
3e PARTIE.					
1re section. D'Auxerre à Laroche.	27,616	60 à 90	0,000667	13	300 à 500
2e sen. De Laroche à Montereau.	91,970	80 à 100	0,000349	17	700 à 1,100
LONGUEUR TOTALE.....	293,280				

L'Yonne a trois principaux affluents : la Cure, qu'elle reçoit à Cravant, à 20 kilomètres en amont d'Auxerre ; le Serein et l'Armançon, qu'elle reçoit à peu de distance de Laroche.

Armes, près Clamecy (Nièvre); elle transporte, à bûches perdues, les bois des forêts du Morvan. Ces bois sont retirés sur les ports voisins de Clamecy, pour y être confectionnés en radeaux appelés trains, ou y être chargés en bateaux à destination de Paris.

La deuxième partie, d'Armes à Auxerre, sur une distance de 75,720 mètres, présente vingt-trois pertuis ou barrages, employés à former, deux fois par semaine, des lâchures ou éclusées qui font descendre les trains de bois; les bateaux, entre Armes et Auxerre, suivent le canal du Nivernais, qui est latéral à la rivière, et qui se confond même, sur une longueur totale de 15,500 mètres, quatorze fois avec elle dans des parties appelées *racles* ou *biefs*.

La troisième partie, d'une longueur de 119,586 mètres, d'Auxerre à Montereau, est navigable de temps immémorial pour toutes les embarcations, trains et bateaux. Elle se divise elle-même en deux sections : la première section, comprise entre Auxerre et Laroche, c'est-à-dire entre les embouchures des deux canaux du Nivernais et de Bourgogne, longue de 27,616 mètres, est encore soumise au régime des éclusées ou de la navigation intermittente; mais les travaux d'amélioration destinés à procurer la navigation continue dans cette première section sont en exécution. Tout fait espérer qu'ils seront achevés en 1873, et qu'avant le 1er janvier 1874 les éclusées de l'Yonne, si elles sont conservées en amont d'Auxerre, ne descendront plus en aval de cette ville. La deuxième section comprend 91,970 mètres entre Laroche et Montereau, c'est-à-dire entre l'embouchure du canal de Bourgogne et le confluent de l'Yonne dans la Seine. Sur cette deuxième section, le

régime des éclusées, ou de la navigation intermittente, n'existe plus depuis le 1er septembre 1871, époque à laquelle ont été relevés les barrages mobiles destinés à procurer une navigation continue sur la basse Yonne.

Basses eaux et crues. — Sur l'Yonne, les eaux sont dites basses lorsqu'elles ne dépassent point la hauteur de 50 centimètres au-dessus de l'étiage; elles sont réputées ordinaires ou moyennes, de 50 centimètres à $1^m,50$. La rivière est en crue quand l'eau dépasse $1^m,50$, et en grande crue au delà de $2^m,20$. A cette hauteur de $2^m,20$, les chemins de halage commencent à être atteints sur quelques points, et la navigation est interrompue.

Pendant sept années, de 1865 à 1871 inclusivement, l'Yonne a été moyennement en crue pendant 20 jours par an; en basses eaux pendant 118, et en eaux ordinaires ou moyennes pendant 227; la navigation a été interrompue par les grandes eaux et par les glaces pendant 18 jours en moyenne par an.

Régime de l'Yonne sous l'influence des éclusées. — L'état de navigabilité de l'Yonne, qui dépend jusqu'ici (au moins en amont de Laroche) du régime des éclusées, est très-variable et précaire; pendant environ huit ou neuf mois de l'année, de mars en novembre, et quelquefois plus longtemps, la navigation n'a lieu qu'à l'aide de flots ou éclusées qui partent deux fois par semaine, le mardi et le samedi, à dix heures du matin, du pertuis d'Armes, situé à 2 kilomètres en amont de Clamecy. Les éclusées de l'Yonne sont fortifiées à Cravant par les lâchures des eaux de la Cure,

et à Laroche par les lâchures des eaux de l'Armançon. Pendant six années, de 1865 à 1870 inclusivement, le nombre moyen des éclusées, par an, a été de 85, et la hauteur d'eau moyenne produite sur les *baissiers*[1] de $1^{m},08$.

A la descente, le flot entraîne rapidement les trains de bois et les bateaux, avec un tirant d'eau qui varie de 50 à 65 centimètres pour les trains, et de 75 centimètres à $1^{m},10$ pour les bateaux. Mais, pour la remonte, l'eau manque souvent à cause des *affameurs*[2] qui succèdent au passage des éclusées, ce qui fait que la navigation ascendante se compose seulement de bateaux vides ou très-peu chargés.

Les éclusées sont conduites par des agents inférieurs appelés *meneurs d'eau*, qui font ouvrir successivement, aux heures convenables, les pertuis ou barrages par lesquels s'écoule avec une grande vitesse le flot, dont l'effet utile est de quatre heures environ et le volume de 1,500,000 mètres cubes, quand l'éclusée est bonne. En amont d'Auxerre, les trains seuls suivent l'éclusée en lit de rivière; les bateaux descendent la veille de l'éclusée par le canal du Nivernais. Une fois l'éclusée passée, les biefs mixtes, c'est-à-dire ceux qui sont librement en communication avec la rivière, restent presque à sec pendant un ou deux jours. En aval d'Auxerre, les bateaux descendent les premiers et les trains de bois viennent ensuite tant que le flot est suffi-

[1] Sur l'Yonne et sur la Seine, on appelle *baissiers* ou maigres les portions hautes du fond du lit, formées généralement de sable et de gravier.

[2] On appelle *affameur* l'état qui succède au passage de l'éclusée, quand le pertuis ou barrage a été fermé; pendant douze à vingt-quatre heures, et quelquefois plus, l'eau est au-dessous du niveau de l'étiage, et la circulation de la moindre barque est impossible sur les baissiers ou bancs de sable qui traversent le chenal.

sant; il arrive souvent que des trains retardataires, qui suivent la queue de l'éclusée, restent sur des bancs de sable et doivent attendre l'éclusée suivante pour reprendre leur marche vers l'aval. En bonnes eaux, les trains de bois mettent six à huit jours pour descendre d'Armes à Paris (distance de 295 kilomètres); mais, souvent aussi, le voyage dure quinze, vingt jours et même un mois; le manque d'eau, une fausse manœuvre, le brouillard, le vent, de nombreuses causes d'accidents et d'avaries rendent difficile et tout à fait précaire ce mode de navigation intermittente. Il faut reconnaître néanmoins que, tout imparfait qu'il est, il a rendu pendant trois siècles[1] de grands services pour le transport économique des bois du Nivernais et de la Bourgogne destinés à l'approvisionnement de Paris, lorsqu'il n'existait pas d'autres voies de communication faciles, rapides et économiques.

Vers le milieu du siècle dernier, l'Administration, le commerce de bois et la batellerie commencèrent à se préoccuper de l'appauvrissement des éclusées, dû à diverses causes, et des moyens d'y remédier. Le meilleur moyen parut être d'emmagasiner, dans les parties hautes de l'Yonne et de ses affluents, de grandes masses d'eau qui seraient recueillies en hiver, et utilisées en été, pour fortifier les éclusées. A cet effet, la loi du 31 mai 1846, en affectant un crédit de 6,500,000 francs à l'amélioration de la navigation intermittente de l'Yonne, autorisa l'exécution du réservoir des

[1] C'est en 1549 que Jean Rouvet inventa le flottage en trains des bois à brûler. Pendant plusieurs siècles, la marine de l'Yonne et la célèbre institution des coches, transportant les voyageurs et les marchandises, furent florissantes jusqu'à l'établissement du chemin de fer de Paris à Lyon.

Settons[1], qui a une capacité de 23 millions de mètres cubes, et qui, depuis l'année 1858, a procuré de grands avantages à la navigation et au flottage de l'Yonne; en été, on fait descendre de ce réservoir, pour chaque éclusée, un volume de 500,000 à 700,000 mètres cubes[2].

Mais le flot de l'éclusée, ramassé sur tous les pertuis en amont d'Auxerre et fortifié par les lâchures des affluents, une fois arrivé à Auxerre, ne trouvant plus d'obstacle, allait en s'affaiblissant jusqu'à la Seine, sur laquelle son action était peu considérable.

La moitié des crédits prévus et autorisés par la loi du 31 mai 1846 était à peine dépensée, que l'on se préoccupait avec raison de l'insuffisance de l'amélioration qui en résulterait, à cause de l'intermittence de la navigation, due au régime des éclusées de l'Yonne. En effet, les progrès de l'industrie et du commerce, et le développement des voies ferrées exigeaient que la batellerie de l'Yonne et de la Seine, en amont de Paris, se perfectionnât elle-même; ce qu'elle ne pouvait évidemment faire que quand la navigation serait rendue continue, avec un tirant d'eau convenable pour les embarcations.

[1] Un modèle du barrage, des dessins du réservoir des Settons et une notice, ont figuré à l'Exposition universelle de Londres en 1862.

[2] Les eaux du réservoir des Settons ne seront pas moins utiles, avec la navigation continue, pour augmenter le débit des basses eaux de l'Yonne et réparer une partie des pertes dues à l'absorption et à l'évaporation, à cause de la hauteur et de l'étendue des biefs que créent les nouveaux barrages.

Fréquentation.

Années.		Transports en bateaux.			Transports en trains. (Descente.)			Total général.
		Descente	Remonte.	Total.	Bois à brûler.	Char pente.	Total.	
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Entre Auxerre et Laroche ramenée au parcours total (27 kilom.).	Moyennes des 7 années de 1866 à 1872 inclusivement.....	74,593	2,340	76,933	110,131	4,267	114,398	191,331
	Maxima en 1866...	120,172	3,264	123,436	138,912	5,561	144,473	267,909
	Minima en 1870 (1).	31,776	1,652	33,428	79,927	683	80,610	114,038
Entre Laroche et Montereau ramenée au parcours total (91 kilom.).	Moyennes des 7 années de 1866 à 1872 inclusivement.....	206,884	7,130	214,014	110,705	22,469	133,174	347,188
	Maxima en 1866...	270,699	5,815	276,514	140,882	38,352	179,236	455,750
	Minima en 1870 (1).	118,014	3,039	121,053	74,804	11,365	86,169	207,222

Le transport des bois en trains diminue depuis l'année 1863, tandis que la quantité des bois transportés en bateau augmente depuis la même année 1863, surtout en 1872.

(1) 1870, année de la guerre.

Établissement de la navigation continue entre Auxerre et Montereau. — Un premier décret du 17 avril 1861 avait déclaré d'utilité publique les nouveaux travaux destinés à procurer en tout temps un tirant minimum d'eau de $1^{m},60$ sur l'Yonne, entre Laroche et Montereau, et estimés 5,200,000 francs. Un deuxième décret, du 11 juillet 1868, déclara l'utilité publique de travaux estimés 3 millions de francs, et destinés à procurer la même amélioration entre Auxerre et Laroche.

Une décision ministérielle du 30 avril 1861 avait fixé, d'après le résultat des enquêtes, la largeur des écluses à $10^{m},50$ et leur longueur utile (1) à 96 mètres. C'est

(1) On appelle longueur utile du sas d'une écluse la distance comprise entre la corde qui sous-tend l'arc du mur de chute et l'enclave de la porte d'aval. Les

d'après ce type qu'ont été construites les vingt-trois nouvelles écluses; quant aux trois anciennes qu'on a conservées, elles ont $8^{m},30$ [1] de largeur; deux de ces écluses, celles d'Épineau et de Port-Renard, ont une longueur utile de 181 mètres; la troisième écluse, celle de la Chaînette, à Auxerre, a une longueur utile de 93 mètres.

Il existe vingt-cinq barrages mobiles et trois dérivations d'Auxerre à Montereau [2], savoir : huit barrages, dont sept avec écluses, et une dérivation, entre Auxerre et Laroche, et dix-sept barrages, dont quinze avec écluses, et deux dérivations, entre Laroche et Montereau; les trois barrages sans écluses sont placés en tête des dérivations.

Trois des vingt-cinq barrages mobiles sont anciens et du système Poirée, c'est-à-dire ayant un déversoir fixe et une passe fermée par des fermettes et des aiguilles : ce sont les barrages de la Chaînette, d'Épineau et de Port-Renard. Les vingt-deux nouveaux barrages ont une passe fermée par des hausses mobiles du système Chanoine, manœuvrées au moyen d'une barre à talon et d'un bateau; le déversoir est

écluses des canaux du Nivernais et de Bourgogne ont une largeur de $5^{m},20$ et une longueur utile moyenne de $30^{m},70$; les bateaux qui les fréquentent ont une largeur de 5 mètres et une longueur de 30 mètres; un train de bois a $4^{m},80$ de largeur et 90 mètres de longueur; un couplage de deux trains a $9^{m},60$ de largeur et une longueur de 95 mètres, parce que l'un des trains dépasse son consort de 5 mètres.

[1] Une largeur de $8^{m},30$ était nécessaire, parce que, sur l'Yonne, il y a quelques grands bateaux de rivière ayant de 7 à 8 mètres de large et de 35 à 40 mètres de long.

[2] La retenue de chaque barrage, supposée horizontale, passe à $1^{m},60$ au-dessus du busc d'aval de l'écluse immédiatement supérieure. (Voir le plan général et le profil en long pour l'emplacement des barrages, la hauteur des chutes, etc.)

surmonté de hausses mobiles manœuvrées au moyen d'une passerelle, pour treize barrages de Laroche à Montereau; à six barrages compris entre Auxerre et Laroche, le déversoir est surmonté de fermettes et d'aiguilles avec une passerelle élevée de 25 centimètres au moins au-dessus de la retenue d'amont; on n'a point trop exhaussé cette passerelle, dans la crainte de rendre les aiguilles difficiles à manœuvrer; pour un seul barrage, celui de l'Île-Brûlée, situé près d'Auxerre, le déversoir est surmonté de grandes vannes du système Girard.

Le seuil des passes est généralement placé à 50 et 60 centimètres au-dessous de l'étiage; le couronnement des déversoirs fixes des trois barrages du système Poirée est au niveau de la retenue; le seuil ou couronnement des déversoirs des autres barrages est situé à 50 centimètres au-dessus de l'étiage.

Dérivations. — Pour éviter des portions de rivière très-sinueuses et dangereuses pour la navigation, on a exécuté trois dérivations, savoir :

Celle de Gurgy, longue de 5,007 mètres;

Celle de Joigny, longue de 3,574 mètres;

Celle de Courlon, longue de 4,134 mètres.

Ces trois dérivations procurent un raccourcissement de 11,309 mètres sur la distance d'Auxerre à Montereau.

En tête de chaque dérivation, il y a une porte de garde pour empêcher l'introduction des eaux des crues.

La largeur au plafond de chaque dérivation est de 16 mètres, et la hauteur au-dessous du plan d'eau normal de $1^{m},80$, avec des talus de 3 mètres de base pour 2 mètres

de hauteur, ce qui donne $21^{m},40$ de largeur à la surface de l'eau. Les digues ou chemins de halage ont 4 à 6 mètres de largeur, et sont élevées de 50 centimètres au moins au-dessus des plus grandes inondations connues. Le passage sous les ponts est réduit à $10^{m},50$; la hauteur de l'intrados, au-dessus du plan d'eau, est de $5^{m},50$.

Parties fixes des barrages. — Dimensions principales et mode de construction. — La largeur du radier de la passe des nouveaux barrages à hausses est de 7 à 10 mètres dans le sens du courant; son épaisseur est au moins égale à la hauteur de la chute du barrage, et rarement inférieure à 2 mètres.

Entre Auxerre et Joigny, le massif du radier repose directement sur le terrain solide, rocher ou craie; les maçonneries ont été exécutées dans des enceintes mises à sec; entre Joigny et Montereau, le massif est formé d'une couche de béton coulé dans une enceinte de pieux et palplanches; sur ce massif on a posé, par épuisement, la plate-forme du radier, qui est en pierres de taille et en moellons piqués ou smillés.

Dans le radier en maçonnerie sont noyées des ancres, des barres de fer et des plaques de fonte, destinées à relier solidement au massif de maçonnerie le seuil en bois contre lequel viennent buter les culasses des hausses.

Le radier du déversoir des nouveaux barrages a généralement une largeur de 4 mètres et une épaisseur minimum de 2 mètres; il est entièrement en maçonnerie ou formé d'un coffrage en charpente rempli de béton et couvert d'un pavage maçonné.

Le déversoir est compris entre une pile en maçonnerie de 3 mètres d'épaisseur et de 6 mètres de longueur, qui le sépare de la passe, et un épaulement en maçonnerie qui s'enracine par deux murs en retour dans la berge.

A l'aval de la plupart des barrages, il a été établi un arrière-radier en enrochements formés de gros moellons ou de blocs artificiels; à quelques barrages on a retenu les enrochements au moyen de pieux battus en quinconce.

Parties mobiles des barrages. — Leur fonctionnement. — Les passes des vingt-deux nouveaux barrages de l'Yonne sont fermées par des hausses mobiles en bois, larges de $1^{m},25$ et espacées entre elles de $0^{m},05$. Pendant la saison des basses eaux, on recouvre les vides entre les hausses par des couvre-joints qui rendent la passe plus ou moins étanche.

Les déversoirs de quinze de ces barrages, situés en aval de Laroche, ont été, lors de leur construction, munis de hausses dites *automobiles* du système Chanoine; ces hausses ont une largeur de $1^{m},35$ et sont espacées de $0^{m},05$; on peut rendre le déversoir plus ou moins étanche en appliquant des couvre-joints sur les vides qui existent entre les hausses.

Les hausses des passes, qui ont la hauteur de la culasse, peu différente de la hauteur de la volée, ne s'abattent pas d'elles-mêmes, mais à l'aide de barres à talon mises en mouvement par des treuils, et se relèvent à l'aide d'un bateau; au contraire, les hausses des déversoirs devaient s'abattre et se relever d'elles-mêmes, grâce à la position de l'axe de rotation qui n'est élevé que de $0^{m},05$ au-dessus du tiers de la hauteur, et aussi eu égard à la présence d'un contre-poids mobile.

Ce système ingénieux des hausses automobiles du déversoir frappait par sa simplicité et séduisait au premier abord dans les expériences faites isolément à un seul barrage. On se préoccupait surtout alors du moyen d'écouler rapidement une crue, sans craindre d'affamer le bief d'amont et de nuire à la marche des embarcations; mais on rencontra de grands mécomptes quand on voulut, en 1868, faire l'essai de la navigation continue sur la Seine et sur l'Yonne, entre Paris et Laroche. Le flot des éclusées de l'Yonne qui était conservé en amont de Laroche, l'arrivée d'une petite crue non annoncée, produisaient de véritables perturbations dans la tenue des biefs, en mettant en bascule les hausses automobiles des déversoirs; en effet, une surélévade $0^m,09$ à $0^m,14$ au-dessus du couronnement des hausses du déversoir suffisait pour mettre ces hausses en bascule. Elles ne se relevaient d'ailleurs que quand l'eau avait baissé de 1 mètre environ en amont, ce qui entravait la marche des embarcations et les exposait à des avaries. Malgré le zèle et le dévouement des agents de la navigation à tous les degrés, il était impossible d'empêcher ce désordre, tant que les hausses des déversoirs ne seraient point manœuvrées par la main des éclusiers; aussi les ingénieurs n'hésitèrent-ils pas à proposer l'établissement de passerelles de manœuvre en amont des déversoirs à hausses, ce qui fut approuvé par une décision ministérielle du 28 décembre 1868, et exécuté en 1869 et 1870. Les malheureux événements de 1870 et de 1871 ont reculé jusqu'au 1er septembre 1871 le fonctionnement de ce nouveau système qui a, du reste, parfaitement réussi, depuis cette époque, pour l'établissement de la navigation continue de Paris à Laroche.

La passerelle de manœuvre se compose de fermettes en fer, dans le système des barrages Poirée, mobiles autour d'un axe horizontal perpendiculaire à l'axe du déversoir; chaque fermette correspond à l'axe d'une hausse; ces fermettes sont reliées à leurs têtes par deux barres d'assemblage qui limitent la largeur de la passerelle; entre ces barres est établi un plancher en bois, élevé de $0^{m},50$ au-dessus du niveau de la retenue; les deux barres d'assemblage sont les rails sur lesquels roule le chariot qui porte le treuil de manœuvre; enfin à ce treuil peuvent aboutir deux chaînes, l'une attachée à la tête de la volée et l'autre au bas de la culasse de chaque hausse. A l'aide du treuil, solidement amarré à une ou deux fermettes, et avec les deux chaînes, on fait sans fatigue et sans danger toutes les manœuvres nécessaires; en temps de crue, les fermettes de la passerelle s'abattent dans un encadrement qui est à peu près au niveau du radier du déversoir; les planches, les barres et le treuil se mettent en magasin. On a allégé les hausses des déversoirs des contre-poids mobiles qui n'ont plus de raison d'être. Aux deux anciens déversoirs des barrages de Pêchoir et de Saint-Martin, qui ont des hausses particulières, mobiles autour d'un axe fixe scellé à la crête amont du couronnement du déversoir, on a aussi établi des passerelles de manœuvre.

Le nouveau système a parfaitement réussi; la nuit chaque éclusier est prévenu de la variation de l'eau en amont de son barrage par une sonnerie mise en mouvement par un flotteur; en outre tous les barrages seront prochainement reliés entre eux par une correspondance télégraphique, et le système ainsi complété empêchera toute surprise.

L'expérience faite en 1868 par le fonctionnement des vingt-neuf barrages mobiles construits sur la Seine et sur l'Yonne, entre Paris et Laroche, devait servir et a servi, en effet, pour la rédaction des projets et pour l'exécution des travaux destinés à améliorer la navigation de l'Yonne entre Laroche et Auxerre. Une décision ministérielle du 1er juin 1869 a approuvé, pour les nouveaux barrages, une passe fermée par des hausses mobiles et un déversoir surmonté de fermettes et d'aiguilles; six des barrages compris entre Auxerre et Laroche ont un déversoir de ce système.

Déversoir du barrage de l'Île-Brûlée. — Système à vannes et presses hydrauliques de M. Girard. — Le déversoir du barrage de l'Île-Brûlée, en vertu d'une décision ministérielle du 23 juin 1870, est surmonté de grandes vannes, de l'invention de M. Girard, ingénieur civil. Ce système comporte[1] :

1° Une série de grandes vannes en bois mobiles autour d'un axe horizontal qui peut tourner dans une gorge en fonte scellée sur la crête d'un radier en maçonnerie;

2° Des presses hydrauliques fixées sur le versant aval du radier, solidement ancrées dans les maçonneries et destinées à manœuvrer chaque vanne. Le piston de chacune de ces presses porte une traverse en fonte de la forme d'un solide d'égale résistance, guidée dans son mouvement par des glissières en fonte sur lesquelles elle s'appuie; à cette traverse sont adaptées trois bielles qui viennent s'articuler

[1] Voir le modèle.

à une autre traverse en fonte fixée aux vannes mobiles en leur milieu;

3° Une série de tubes en cuivre qui mettent en communication chaque presse avec les générateurs et réservoirs de force destinés à envoyer l'eau sous pression dans les presses hydrauliques;

4° Une usine hydraulique construite sur la culée du barrage. Cette usine comprend une turbine à axe vertical, une pompe à double effet qui reçoit son mouvement de la turbine, et un réservoir de force. Les pompes et le réservoir communiquent ensemble, et avec les presses, par l'intermédiaire de robinets à trois eaux qui permettent de refouler l'eau soit dans le réservoir, soit dans les presses, ou de l'évacuer dans un tuyau de décharge.

La manœuvre des vannes se fait par un simple jeu de ces robinets. En mettant chaque presse en communication soit avec les pompes, soit avec le réservoir de force sous une pression suffisante, on produit le mouvement ascensionnel du piston et, par suite, le relèvement de la vanne; en ouvrant au contraire le robinet sur le tuyau de décharge, l'eau s'échappe sous la pression de la vanne, le corps de presse se vide et la vanne s'abat.

Le réservoir de force est un régulateur du jeu des pompes; il permet en outre de relever le barrage quand, la retenue n'étant pas encore produite, il n'y a pas assez de chute pour mettre la turbine en mouvement.

Le déversoir du barrage de l'Île-Brûlée a 25 mètres de longueur; le seuil est arasé à 2 mètres en contre-bas du niveau de la retenue d'amont. La chute est de $1^{m},85$.

Les vannes sont au nombre de sept. Elles ont $3^{m},52$ de

largeur sur $1^m,97$ de hauteur. Quand elles sont relevées, elles présentent un fruit de $0^m,40$; abattues, elles se couchent horizontalement sur le radier.

Les presses sont également au nombre de sept: elles sont en fonte; leur diamètre extérieur est de $0^m,40$, leur épaisseur de $0^m,04$. Le piston est en fonte revêtue d'une chemise en bronze; son diamètre est de $0^m,30$. Il glisse dans une garniture en cuir embouti qui forme un joint d'autant plus étanche que la pression est plus forte.

Les tuyaux d'alimentation débouchent au fond des corps de presses; leur diamètre est de $0^m,025$; il y en a un pour chaque presse. Ils sont logés dans un caniveau pratiqué dans le radier et aboutissent aux robinets de distribution dans l'intérieur de l'usine hydraulique.

Pour être à l'abri de la gelée, les presses ont été établies tout entières au-dessous de la retenue d'aval; mais cette disposition ayant l'inconvénient de rendre difficile la visite ou la réparation de leurs organes, on a ménagé entre chacune d'elles des cloisons en maçonnerie munies de coulisses à l'aide desquelles on pourra, sans grands frais, établir des batardeaux en poutrelles et épuiser isolément chaque compartiment pour réparer ou visiter leurs organes.

La turbine à axe vertical présente $1^m,20$ de diamètre; elle actionne directement, par sa manivelle supérieure, une pompe à eau, à double effet, et une pompe à air, qui refoulent l'eau et l'air dans le réservoir de force, sous une pression qui peut aller jusqu'à 25 et 30 atmosphères.

Le réservoir de force est un cylindre en fonte de $0^m,66$ de diamètre intérieur et de $3^m,50$ de hauteur. L'épaisseur des parois est de $0^m,05$. Ce réservoir a été éprouvé, ainsi

que tous les appareils du barrage, sous une pression de 35 atmosphères.

Les dimensions des divers organes du barrage ont été calculées par M. Girard de manière qu'on n'eût jamais à dépasser la pression de 25 atmosphères. Cette pression est nécessaire pour relever le barrage sous la chute complète de $1^{m},85$. L'expérience qui vient d'être faite a réussi. Les appareils marchent avec une grande régularité et une rapidité remarquable. Il faut moins d'une minute pour relever une grande vanne. Il sera possible, d'ailleurs, de diminuer notablement la pression nécessaire au relèvement en munissant les grandes vannes de petites vantelles appelées *papillons*, comme on en a fait l'essai sur deux d'entre elles; ces papillons, au nombre de trois par vanne, sont placés à la partie supérieure; ils ont leur axe de rotation au tiers de leur hauteur. Quand la vanne est abattue, ils s'inclinent dans le sens des filets de la nappe d'eau qui les couvre, et comme ils sont en tôle mince, ils n'offrent pas de résistance à la poussée de l'eau, en sorte que la pression sur la vanne au départ est notablement réduite. Quand la vanne commence à émerger de l'eau, les papillons se referment d'eux-mêmes.

Lorsque les vannes sont levées, il ne faut pas une pression de plus de 7 ou 8 atmosphères pour les tenir fermées; il n'est pas nécessaire, d'ailleurs, de tenir les presses en communication avec le réservoir de force. Il suffit de fermer les robinets de distribution, et comme toutes les presses sont bien étanches, elles ne se vident pas.

La dépense de construction de ce système de barrage est de 50,000 francs, non compris la maçonnerie. La longueur totale étant de 25 mètres, c'est un prix de revient de

2,000 francs par mètre courant à ajouter au prix des maçonneries, qui est d'environ 1,000 francs par mètre.

Le déversoir à fermettes et aiguilles ne coûte, dans cette partie de l'Yonne où les fondations sont faciles, que 1,200 fr. par mètre courant, tout compris. Le système à presses hydrauliques, s'il a l'avantage d'un fonctionnement plus commode, a donc l'inconvénient d'être relativement très-coûteux.

Écluses. — Dimensions, forme, mode de construction. — Les trois écluses anciennes ont leurs bajoyers verticaux entièrement en maçonnerie; le bajoyer du large a une épaisseur de $2^{m},50$.

Quinze des écluses nouvelles ont seulement leurs têtes et les chambres des portes en maçonnerie, avec des parements verticaux; le reste du sas est compris entre deux perrés maçonnés à l'inclinaison de 45 degrés; ces perrés reposent sur un massif en béton ou en maçonnerie fondé sur le terrain solide ou soutenu par une ligne de pieux et palplanches; pour les écluses en rivière, la digue, qui forme le bajoyer du large, a une épaisseur de 3 mètres en couronne avec un talus extérieur perréyé à l'inclinaison de 3 de base pour 2 de hauteur. La plate-forme du couronnement de la digue est maçonnée. Cette digue, construite en terre, avec un noyau central en terre glaise pilonnée de 2 mètres d'épaisseur, est généralement très-étanche.

Quatre écluses ont leur sas compris entre un talus perréyé du côté de terre et un bajoyer vertical en maçonnerie de $2^{m},50$ d'épaisseur du côté du large.

Enfin six écluses ont leurs bajoyers entièrement en maçonnerie.

Les portes de garde ont aussi leurs bajoyers en maçonnerie.

Les maçonneries des écluses entre Auxerre et Joigny sont fondées sur le rocher ou sur la craie; et entre Joigny et Montereau, généralement sur massif de béton avec enceinte de pieux et palplanches.

Les écluses dont les sas sont compris entre deux talus perréyés n'ont point de radier général, mais les autres écluses ont un radier, à moins que le fond de l'écluse ne soit en rocher.

Tous les vantaux des écluses et des portes de garde sont en bois; chaque vantail est manœuvré par une crémaillère circulaire, actionnée par un pignon et par une manivelle.

Les vantelles des portes sont à jalousies.

Les garde-corps des portes des écluses en rivière, qui sont submersibles, sont mobiles, de manière à pouvoir être enlevés en temps de crue.

LA SEINE.

La Seine, qui prend sa source dans le département de la Côte-d'Or, n'est navigable qu'à partir du village de Marcilly (département de la Marne), où elle reçoit la rivière d'Aube et le canal de la Haute-Seine.

La portion du fleuve comprise entre Marcilly et Paris, longue de 187 kilomètres, prend le nom de *Haute-Seine;* elle se divise en deux sections bien distinctes : la première, appelée *Petite-Seine,* va de Marcilly à Montereau; et la deuxième, qui est la Haute-Seine proprement dite, va de Montereau à Paris (enceinte d'amont des fortifications).

Le tableau suivant fait connaître les longueurs, largeurs

et pente moyenne du lit de la Seine avec le débit entre Marcilly et Paris.

DÉSIGNATION DES PARTIES.	LONGUEURS.	LARGEUR MOYENNE du lit.	PENTE MOYENNE à l'étiage.	DÉBIT à l'étiage.	DÉBIT en crue.
	kilom.	mètres.	millim.	mèt. cub.	mèt. cub.
PREMIÈRE SECTION.					
De Marcilly à Montereau.....	89	65 à 70	0,000227	10	300
2e SECTION (98 kilomètres).					
1re partie. De Montereau au canal du Loing.	12	100 à 110	0,000218	28	de 900 à 2000
2e partie. Du canal du Loing à Paris.....	86	140 à 170	0,000195	32 à 52 (2)	
	187 (1)				

La Seine reçoit trois principaux affluents : l'Yonne, à Montereau; le Loing, à Saint-Mammès; et la Marne, près Paris.

(1) Sur ce parcours de 187 kilomètres, la Seine traverse les cinq départements de la Marne, de l'Aube, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise et de la Seine.

(2) Le débit à l'étiage de 32 mètres cubes est pris en aval et près du Loing, et celui de 52 mètres cubes est compté à la porte de Paris, en aval de la Marne.

Basses eaux et crues. — A l'étiage, sur la Petite-Seine, le tirant est de $0^m,20$ à $0^m,30$ sur les *baissiers*, et de 50 à 60 centimètres entre Montereau et Paris.

Les crues commencent sur la Petite-Seine en amont de Montereau, quand les eaux atteignent la hauteur de $1^m,50$ au-dessus de l'étiage; la navigation cesse ordinairement quand l'eau dépasse $2^m,20$. En aval de Montereau, sur la Haute-Seine, les crues commencent à la hauteur de $2^m,50$ au-dessus de l'étiage; la navigation montante cesse à la hauteur de 3 mètres, et la navigation descendante à $3^m,30$ environ.

État de la navigabilité sous l'influence des éclusées. —

Il faut distinguer la Seine en amont de Montereau et la Seine entre Montereau et Paris.

1° De l'embouchure de l'Aube à Nogent-sur-Seine, la navigation fluviale, qui fait suite à celle du canal de la Haute-Seine, peut être regardée comme continue jusqu'à Nogent. Elle est relativement facile, grâce à la présence de la dérivation de Marcilly à Nogent et aux deux barrages de Conflans et de Nogent. Mais de Nogent à Montereau il n'existe que quatre barrages qu'on fait manœuvrer dans la saison des basses eaux pour donner des flots ou éclusées jusqu'à Montereau. De là une navigation fort peu importante sur la Pètite-Seine. On étudie en ce moment un avant-projet de travaux destinés à procurer dans un temps plus ou moins rapproché un tirant minimum d'eau de $1^{m},60$ à la Seine, en amont de Montereau, comme sur la Seine et sur l'Yonne, entre Paris et Auxerre.

2° Sur la Seine, en aval de Montereau (notamment en aval de l'embouchure du Loing), la navigation est naturellement moins difficile et plus importante que sur la Seine et sur l'Yonne, en amont de Montereau. Cependant l'état de navigabilité de cette portion de la Seine était, avant le mois de septembre 1871, fortement influencé par le régime des éclusées de l'Yonne; aussi, pendant près des trois quarts de l'année, la navigation de la Seine était intermittente. Cet état précaire et fâcheux sur un fleuve de l'importance de la Seine, aux portes de Paris et sur la grande ligne navigable du Havre à Marseille, a cessé depuis le mois de septembre 1871, par le relèvement des douze barrages mobiles exécutés dans ces dernières années entre Paris et Mon-

tereau, en vertu de deux décrets des 16 septembre 1859 et 28 juillet 1860.

Résumé de la fréquentation pendant les sept dernières années (1866-1872).

ANNÉES.	1re SECTION : DE MARCILLY À MONTEREAU. (Distance légale 88 [1] kilom.) — TONNAGE RAMENÉ AU PARCOURS TOTAL.			2e SECTION : DE MONTEREAU À PARIS. (Distance légale 100 [1] kilom.) — TONNAGE RAMENÉ AU PARCOURS TOTAL.		
	A la descente.	A la remonte.	Total.	A la descente.	A la remonte.	Total.
	tonneaux.	tonneaux.	tonn.	tonneaux.	tonneaux.	tonneaux.
Moyenne des sept années de 1866 à 1872 inclusivement	45,348	2,754	48,102	731,172	77,556	808,728
Maxima... en 1868	69,539	7,632	77,171	"	"	"
Maxima... en 1866	"	"	"	930,908	165,763	1,096,671
Minima... en 1872	27,342	2,388	29,730	"	"	"
Minima... en 1870 [2]	"	"	"	411,145	39,399	450,544

[1] Distance admise par l'administration des contributions indirectes pour la perception des droits de navigation.

[2] 1870, année de la guerre.

Amélioration de la navigation intermittente de la Seine. — La loi du 31 mai 1846 affecta une dotation de 7 millions de francs pour améliorer la navigation intermittente de la Seine au moyen de divers travaux jugés utiles; on devait notamment établir plusieurs barrages en amont de Montereau et un seul barrage immédiatement en aval de Montereau, de manière à conserver et à fortifier les éclusées de l'Yonne. On espérait obtenir un mouillage d'au moins 1 mètre au plein de l'éclusée avec un minimum de tirant d'eau de $0^{m},80$ aux *affameurs*.

Un décret du 17 septembre 1859 décida qu'au lieu d'un seul barrage en aval de Montereau, il en serait construit

trois, savoir : un à Champagne, un à Melun et un à Évry, toujours au point de vue de l'amélioration de la navigation intermittente.

Établissement de la navigation continue entre Montereau et Paris. — Un décret du 18 juillet 1868 approuva le projet de douze grands barrages éclusés, y compris les trois barrages prévus au décret de 1859; ces barrages étaient destinés à procurer en tout temps un minimum de tirant d'eau de $1^{m},60$ entre Montereau et Paris; une nouvelle dotation de 6 millions de francs était affectée à l'exécution des nouveaux travaux.

Les douze barrages ont été construits dans le système Chanoine, c'est-à-dire avec des hausses mobiles larges de $1^{m},20$ pour la passe, et des hausses automobiles larges de $1^{m},30$ pour le déversoir; le vide entre deux hausses relevées est de $0^{m},10$; un seul barrage, celui de Melun, conserva pour déversoir le barrage à fermettes et aiguilles qui existait dans le bras droit de la Seine. Les passes navigables, en maçonnerie, ont de $40^{m},40$ à $65^{m},10$ de largeur; leur seuil en bois, solidement encastré dans un radier de 10 mètres de largeur, est à 3 mètres au-dessous du niveau de la retenue et à $0^{m},60$ au-dessous de l'étiage. Les nouveaux déversoirs ont de $60^{m},30$ à $70^{m},10$ de longueur; leur seuil est à $0^{m},50$ au-dessus de l'étiage; le radier, large de 4 mètres, est formé d'un coffrage en charpente rempli de béton et surmonté de traverses aussi en bois, entre lesquelles est encastré un pavage en maçonnerie; chaque déversoir est compris entre une pile de 3 mètres d'épaisseur qui le sépare de la passe et un épaulement qui le relie à la berge.

Les écluses ont un sas large de 12 mètres et une longueur utile d'au moins 180 mètres[1], de manière à recevoir douze bateaux de canal ou quatre trains de bois à brûler.

Les écluses ont leurs têtes en maçonnerie ainsi que les chambres des portes; mais les revêtements du sas sont tout simplement des perrés maçonnés inclinés à 45 degrés, comme sur l'Yonne; la digue du large en terre, avec un noyau corroyé en glaise, a 3 mètres d'épaisseur en couronne; son talus extérieur est revêtu d'un perré à pierres sèches brutes reposant sur des enrochements. L'écluse de Port-à-l'Anglais a des bajoyers en maçonnerie avec parements intérieurs verticaux. Le busc d'aval d'une écluse est placé à $1^{m},60$ au moins en contre-bas de la retenue du barrage inférieur, cette retenue étant supposée horizontale.

Les couronnements des barrages et des écluses sont à $0^{m},40$ au moins au-dessus des retenues d'amont.

L'essai de la navigation continue fait en 1868, et dont il a été parlé plus haut au sujet des barrages de l'Yonne, avait démontré le vice des hausses automobiles des déversoirs. Aussi on a établi, en 1869 et 1870, des passerelles de manœuvre en amont de ces déversoirs.

La pose de la ligne télégraphique est commencée depuis plusieurs mois; la longue crue de la fin de 1872 a retardé l'achèvement des travaux.

Modifications à l'écluse et au barrage de Port-à-l'Anglais. — A cause de la grande distance (24,600 mètres)

[1] Ces dimensions exceptionnelles ont paru nécessaires à cause du grand nombre d'embarcations de toute grandeur qui arrivent de l'Yonne, de la Petite-Seine, du Loing et des ports de la Seine entre Montereau et Paris.

qui existe entre les deux barrages de Port-à-l'Anglais et de Suresnes, situés l'un en amont et l'autre en aval de Paris, et par suite de l'abandon définitif du projet de construction d'un barrage dans l'intérieur de Paris, on a dû abaisser d'un mètre le busc d'aval de l'écluse de Port-à-l'Anglais, et remplacer par des bajoyers en maçonnerie les talus inclinés et perréyés du sas de cette écluse; pour ne pas intercepter la navigation pendant la réfection du sas de l'écluse, qui est sur la rive gauche de la Seine, on avait pratiqué sur la rive droite, dans le déversoir du barrage, une grande brèche, par laquelle passaient les embarcations; plus tard on a construit dans cette brèche un pertuis fermé par des hausses. L'ancienne passe navigable, qui a une largeur de $54^{m},70$, a conservé ses hausses manœuvrées à l'aide d'un bateau. Le déversoir, dont la longueur a été réduite à $37^{m},90$, est séparé du pertuis par une pile de 3 mètres d'épaisseur; les hausses du déversoir sont manœuvrées à l'aide d'une passerelle.

Nouvelle passe ou pertuis navigable. — La nouvelle passe ou pertuis navigable du barrage de Port-à-l'Anglais offre une largeur libre de $28^{m},70$ entre les culées; elle est fermée par vingt-six hausses mobiles du système de M. Chanoine; son seuil, se trouvant à 70 centimètres en contre-bas de celui de l'ancienne passe, qui est fermée par des hausses de 3 mètres, les nouvelles vannes mobiles s'élèvent jusqu'à $3^{m},70$ au-dessus de leur seuil.

Pour supporter une retenue aussi considérable, différentes modifications ont dû être apportées aux modèles primitivement adoptés par M. Chanoine pour les barrages à hausses mobiles.

1° La largeur de chaque hausse a été réduite à 1 mètre au lieu de $1^m,20$; l'intervalle de 10 centimètres entre deux hausses a été conservé; en outre, la charpente a été simplifiée; elle se compose de deux montants réunis par quatre entretoises. Ces montants ont $3^m,86$ de longueur et 30 centimètres sur 20 centimètres d'équarrissage; les bordages intermédiaires ont 5 centimètres d'épaisseur.

2° L'inclinaison des hausses sur la verticale, qui était de 8° dans le modèle de M. Chanoine, a été portée à 20° pour diminuer l'effort qui tend à arracher le seuil du radier.

3° Lorsqu'une hausse est abattue, elle porte sur quatre dés faisant corps avec le radier; en outre, la volée est relevée par deux taquets fixés aux montants; grâce à cette disposition, la hausse est parfaitement soutenue et aucune déformation de la charpente n'est à craindre.

4° Dans le modèle primitif de M. Chanoine, l'axe de rotation était placé aux 5/12 de la hauteur totale; pour les nouvelles hausses de Port-à-l'Anglais, cette disposition donnerait à la culasse une hauteur de $1^m,60$ environ; on lui a donné $1^m,75$ et on a placé l'axe de rotation à 15 centimètres seulement en contre-bas de l'axe de figure.

Cette disposition empêche ces hausses de basculer spontanément, inconvénient que présentent quelquefois les anciennes, lorsque les eaux s'élèvent trop dans le bief d'aval et que la chute du barrage est réduite outre mesure. On remédie actuellement à cet inconvénient des hausses de l'ancienne passe navigable, en disposant entre les montants de leur volée de petites vantelles automobiles autour d'un axe horizontal et ayant 1 mètre de hauteur sur 42 centimètres de largeur. Ces vantelles, appelées *vannes-papillons*, s'ouvrent

spontanément avant que la hausse vienne à basculer, et l'éclusier les referme en temps utile avec la plus grande facilité, au moyen d'une gaffe, en circulant en batelet derrière le barrage.

5° Au lieu de se contenter d'un bateau de manœuvre pour opérer le relevage des grandes hausses de la nouvelle passe, on a établi à l'amont une passerelle de service composée de fermettes du système Poirée sur lesquelles roule le treuil de manœuvre.

Les fermettes de la passerelle ont $4^{m},75$ de hauteur totale, $3^{m},10$ de largeur à la base et $1^{m},20$ au sommet; une fermette se trouve au droit de l'axe de chaque hausse, et le plancher de la passerelle est placé à 50 centimètres au-dessus de la retenue normale du barrage. Les montants d'amont et d'aval, les bracons et les entretoises sont formés par des fers en U de 8 centimètres de largeur, 35 millimètres de hauteur et 7 millimètres d'épaisseur. L'essieu ou traverse inférieure est en fer rond de 8 centimètres de diamètre. Toutes ces pièces sont réunies par de larges goussets en tôle de 7 millimètres d'épaisseur.

La dépense pour l'abaissement du busc d'aval de l'écluse de Port-à-l'Anglais et la réfection des murs de revêtement du sas s'est élevée à.....	372,056f,74c
La dépense pour la construction du pertuis a été de..	225,000 00
Dépense totale.....	597,056f,74c
La dépense antérieure était de.....	983,675 62
De sorte que le barrage de Port-à-l'Anglais, dans son état actuel, a coûté.....	1,580,732f,36c

OBSERVATIONS GÉNÉRALES. — MOYENS DE TRACTION. — CHARGE MOYENNE ET CHARGE MAXIMUM DES BATEAUX. — NATURE DES PRINCIPALES MARCHANDISES TRANSPORTÉES. — TAUX DU FRET. — CORRESPONDANCE TÉLÉGRAPHIQUE.

Moyens de traction. — Dans le système de navigation intermittente au moyen des éclusées, toutes les embarcations à la descente suivent le flot de l'éclusée ; à la remonte, elles sont traînées de Paris à Montereau par les toueurs à vapeur se halant sur une chaîne noyée, et en amont de Montereau par des chevaux.

Avec la navigation continue, établie depuis le 1er septembre 1871 entre Paris et Laroche, tous les moyens de traction sont tentés ; les toueurs de la chaîne traînent les bateaux à la descente comme à la remonte entre Paris et Montereau ; on voit aussi des bateaux à vapeur porteurs et remorqueurs, et enfin le halage ordinaire.

Charge moyenne des bateaux. — On est au début du nouveau mode de navigation continue ; les bateaux n'ont pas encore tout le tirant qu'ils peuvent avoir ; on se sert de l'ancien matériel, surtout de celui des canaux; la charge moyenne des bateaux est de 100 tonnes, et la charge maximum de 200 tonnes pour les bateaux de canaux, et de 300 à 350 tonnes pour les grands bateaux de rivière.

Nature des marchandises. — Les principales marchandises transportées sont les bois et les charbons de bois, les vins, les matériaux de construction, les céréales, la houille et les minerais.

Taux du fret. — Il est extrêmement difficile de connaître exactement le taux du fret, à cause des malheureux événements de 1870 et 1871, qui ont apporté une grande perturbation dans les relations commerciales, et aussi à cause du nouveau mode de navigation ; on peut évaluer le taux du fret à 3 centimes par tonne et par kilomètre entre Paris et Laroche, dans les deux sens, pour les marchandises diverses ; à 4 centimes par tonne et par kilomètre à la descente sur la Petite-Seine en amont de Montereau et sur l'Yonne en amont de Laroche, et à 6 centimes par tonne et par kilomètre à la remonte.

Pour les bois à brûler, le transport de Clamecy à Paris en train se paye 22 francs le décastère, et en bateau 35 francs ; un décastère représente environ 5 tonnes ; la distance de Clamecy à Paris par le lit canalisé de l'Yonne est de 284 kilomètres, ce qui fait en train $0^f,0155$ par tonne et par kilomètre, et en bateau $0^f,0246$ par tonne et par kilomètre.

Malgré cette différence de prix, le transport des bois à brûler par trains diminue en faveur du transport par bateaux.

Correspondance télégraphique. — Un complément indispensable à l'amélioration de la navigation sur la Seine et sur l'Yonne est une correspondance télégraphique qui mette en rapport chaque barrage avec les deux barrages voisins de l'amont et de l'aval ; la ligne télégraphique s'établit en ce moment.

Dépenses.

1° — SUR L'YONNE ENTRE AUXERRE ET MONTEREAU.

(Longueur de rivière canalisée, 108,277 mètres.)

Sept barrages éclusés d'Auxerre à Laroche.....	2,219,000f,00c
Barrage de Gurgy, sans écluse.....	140,000 00
Huit barrages éclusés de Laroche à Sens.....	3,696,000 00
Barrage de Joigny, sans écluse.....	170,000 00
Sept barrages éclusés de Sens à Montereau.....	3,927,000 00
Barrage de Courlon, sans écluse.....	200,000 00
	10,352,000f,00
12,715 mètres de dérivation à grande section....	3,031,891f,75c
Travaux divers, dragages, digues, amélioration de chemins de halage, études, personnel, etc....	3,440,188f,51c
Total des dépenses entre Auxerre et Montereau [1].	16,824,080f,26c

2° — SUR LA SEINE ENTRE MONTEREAU ET PARIS.

(Longueur de rivière canalisée, 98,000 mètres.)

Cinq barrages éclusés de Montereau à Melun....	4,046,416f,25c
Six barrages éclusés de Melun à Ablon.....	5,185,411 20
Barrage éclusé de Port-à-l'Anglais.....	1,580,732 36
Travaux divers, dragages, digues, amélioration de chemins de halage, études, personnel, etc....	3,541,500 19
Total entre Montereau et Paris [1].....	14,354,060f,00c

[1] L'intérêt des dépenses de premier établissement, augmenté de la dépense annuelle d'entretien, représente à peu près, pour le trafic moyen actuel, 2 centimes par tonne et par kilomètre pour l'Yonne et 1 centime pour la Seine.

Les auteurs des projets et les ingénieurs qui ont dirigé les travaux relatifs à l'établissement de la navigation continue entre Paris et Auxerre sont :

Pour la Seine,

M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées Chanoine, antérieurement au 1er avril 1867; M. l'ingénieur en chef des ponts et chaussées Cambuzat, depuis le 1er avril 1867; MM. les ingénieurs de Lagrené, Garceau, Boulé, Lévy (Maurice) et Lévy (Théodore);

Pour l'Yonne,

M. l'ingénieur en chef Cambuzat et MM. les ingénieurs Pille, Marini, Humblot, de Dartein, Remise, Lévy (Théodore) et Chigot.

Parmi les conducteurs et entrepreneurs qui depuis l'année 1857 ont pris part à tous les travaux d'amélioration de la Seine et de l'Yonne, on citera seulement MM. les conducteurs Roger-Queux, Nicolle, Bertauche et Ponteau; les entrepreneurs Bathier, Canapville, Denuelle et Marc et la maison Claparède, de Saint-Denis, pour les derniers travaux du pertuis du barrage de Port-à-l'Anglais; M. Callon, entrepreneur, et la maison Feray, d'Essonnes, pour le déversoir à vannes du système Girard du barrage de l'Île-Brûlée, sur l'Yonne.

On doit mentionner ici particulièrement le nom de l'inventeur Girard, qu'une mort prématurée a brusquement enlevé aux plus patientes et aux plus ingénieuses recherches.

XI.

RÉSERVOIR DE PANTHIER.

(CANAL DE BOURGOGNE.)

Dessins à des échelles variant de $0^m,000025$ à $0^m,02$.

Cinq grands réservoirs ont été construits dans le voisinage de Pouilly-en-Auxois, pour servir à l'alimentation du bief de partage et des deux branches du canal de Bourgogne, sur le versant de la Saône et sur le versant de l'Yonne.

La capacité de ces réservoirs est de 20,145,000 mètres cubes. Cette capacité ayant été reconnue insuffisante pour assurer à la navigation un mouillage normal de $1^m,80$, l'Administration a dû songer à l'augmenter, soit en agrandissant deux des réservoirs actuels, soit en établissant un nouvel ouvrage de ce genre dans la partie moyenne du versant de l'Yonne, de manière à porter le volume d'eau disponible à 30,000,000 de mètres cubes.

L'agrandissement du réservoir de Panthier sera terminé cette année. Le nouveau réservoir pourra contenir 8,000,000 de mètres cubes qui serviront exclusivement à l'alimentation des biefs du versant de la Saône. Sa superficie embrasse 150 hectares, et celle du bassin dont il reçoit les eaux est de 30 kilomètres carrés, pouvant fournir annuellement 11,000,000 de mètres cubes d'eau, à raison de 375,000

mètres par kilomètre carré, ainsi que l'ont démontré de longues observations locales.

Le réservoir de Panthier est établi dans le vallon où coule le ruisseau dont il tire son nom. Il affecte en plan la forme générale d'une ellipse et se trouve limité, à droite et à gauche par des coteaux, en amont et en aval par deux digues en terre qui s'y enracinent.

Une rigole de 3,370 mètres de longueur y amène les eaux dérivées du ruisseau d'Échannay et de quatre ruisseaux secondaires; un cinquième ruisseau, celui de Panthier, débouche directement dans le réservoir.

Les eaux du réservoir sont conduites dans le canal, au bief n° 10 du versant de la Saône, par une rigole de 2,500 mètres dans laquelle débouchent les deux aqueducs et rigoles d'alimentation.

Digue principale. — La digue principale du réservoir est construite en terre corroyée avec soin. Elle a 1,250 mètres de longueur, $4^{m},70$ de largeur en couronne, et 13 mètres de hauteur au-dessus du terrain naturel dans sa partie centrale, laquelle mesure 350 mètres de longueur environ et 70 mètres de largeur à la base. La hauteur de la retenue au-dessus du radier de l'aqueduc de vidange est de $13^{m},60$, et la revanche de la digue au-dessus du plan d'eau de $1^{m},70$, non compris $0^{m},80$ de parapet. Le talus extérieur de la digue est incliné à 2 mètres de base pour 1 de hauteur; son talus intérieur a $2^{m},26$ de base pour 1 mètre de hauteur. Le premier est gazonné, le second est revêtu d'un perré de $0^{m},50$ d'épaisseur, maçonné en mortier, étagé par quatre gradins successifs, avec autant de banquettes de 3 mètres

de largeur. La digue est en outre protégée au pied par un mur d'étanchement de $1^m,50$ d'épaisseur descendu jusqu'à la marne rocheuse du lias, dans laquelle on l'a encastré de $0^m,50$, et par une risberme de 6 mètres de largeur. Enfin, pour limiter les glissements possibles on a construit, à 40 mètres de distance les unes des autres, des cloisons en maçonnerie de $1^m,50$ d'épaisseur supportées par deux larges arceaux.

Tour de prise d'eau et aqueduc de vidange. — L'ancienne tour de prise d'eau, qui occupait la partie centrale de la digue, a été dérasée au niveau de la seconde banquette. Elle servira désormais à débiter la tranche d'eau inférieure du réservoir, sur 6 mètres de hauteur au-dessus du radier de l'aqueduc de vidange. Cet aqueduc a été prolongé, à cet effet, d'environ 30 mètres en aval et de 5 mètres en amont.

La nouvelle tour a été construite vers l'extrémité droite de la digue, et assise sur le coteau par motif de solidité et d'économie. Elle n'a que 10 mètres de hauteur au-dessus de la fondation. Elle comprend :

1° Un déversoir de superficie de 4 mètres de longueur, recouvert par une voûte et une calotte surbaissées, qui supportent la plate-forme de l'ouvrage sur laquelle seront disposés les crics servant à la manœuvre des deux vannes supérieures;

2° Deux pertuis de prise d'eau de $0^m,70$ de largeur sur 1 mètre de hauteur, ayant leur seuil à 3 mètres en contrebas de la retenue et puisant directement l'eau dans le réservoir;

3° Un troisième pertuis de prise d'eau ayant même section que les précédents et son seuil placé à $4^m,50$ plus bas, soit à $7^m,50$ en contre-bas de la retenue : ce pertuis communique avec le réservoir par un long aqueduc voûté, ayant 1 mètre de largeur et $1^m,80$ de hauteur sous clef;

4° Un grand puits demi-circulaire de 4 mètres de diamètre dans lequel viennent tomber les eaux du déversoir de superficie, celles des trois pertuis de prise d'eau, enfin celles du vallon de Panthier, qui autrement s'accumuleraient en amont de la digue secondaire et noieraient de vastes prairies que l'on a dû conserver à l'agriculture.

Un grand aqueduc de 520 mètres de longueur, sur 1 mètre de largeur et $1^m,80$ de hauteur sous clef, amène dans ce puits les eaux dont il s'agit. Il est construit à flanc de coteau dans l'intérieur même du réservoir, et a son ouverture d'amont en dehors et près du point d'attache de la digue secondaire. Enfin, toutes les eaux que reçoit le puits de la tour sont évacuées par un aqueduc suivi d'une rigole maçonnée qui les amène jusqu'à la rigole d'Esbordes, laquelle les rejette dans le canal du bief n° 10 du versant de la Saône.

Digue secondaire. — La digue secondaire limite en amont le bassin du réservoir, en vue de conserver d'excellents et vastes prés à l'agriculture et de ne point créer de marais préjudiciables à la salubrité publique. Elle a 1,200 mètres de longueur, $4^m,50$ de largeur en couronne avec talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur, et s'élève à $1^m,50$ au-dessus du plan de la retenue. Sa hauteur maxima est de 6 mètres sur 2 mètres de longueur environ; en cette partie elle mesure $28^m,50$ de largeur à la base.

Le talus extérieur est gazonné et le talus intérieur revêtu d'un perré maçonné ayant $0^m,50$ d'épaisseur moyenne.

La digue secondaire est traversée par un aqueduc de fond qui amène dans le réservoir les eaux du vallon de Panthier, et par une rigole de superficie qui y introduit celles du ruisseau de même nom. L'ensemble de ces ouvrages constitue la prise d'eau secondaire de Panthier.

Rigole de remplissage. — La rigole de remplissage a 3,370 mètres de longueur entre la prise d'eau d'origine, construite sur le ruisseau d'Échannay, et son entrée dans le réservoir. La pente totale, qui est de $9^m,70$, se trouve rachetée par quatre chutes verticales et par cinq parties successives dont la pente varie de $0^m,0025$ à $0^m,0042$ par mètre. La section transversale de cette rigole a $2^m,50$ de largeur au plafond, avec talus inclinés à $1\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur et une profondeur moyenne de $1^m,70$. Deux digues de 2 mètres de largeur en couronne avec talus ordinaires à $1\frac{1}{2}$ complètent cette section.

Le débit de la rigole peut s'élever de $2^m,76$ à $8^m,04$ par seconde, avec une vitesse de $0^m,50$ à $2^m,06$, à mesure que le produit de la prise d'eau principale se grossit de celui des prises d'eau secondaires fournies par les affluents du ruisseau d'Échannay. Pour protéger la rigole contre les affouillements on a dû revêtir son plafond d'un radier et ses talus de perrés maçonnés.

La rigole de remplissage traverse en souterrain plusieurs routes ou chemins, ainsi qu'un contre-fort de 250 mètres d'épaisseur. Elle reçoit dans son parcours les eaux de quatre ruisseaux assez importants, dont la traversée a nécessité la

construction d'ouvrages d'art assez compliqués qui devaient satisfaire à la condition de laisser passer les eaux des crues sous la rigole ou de les recevoir à volonté dans celle-ci. De là, la nécessité d'établir un déversoir régulateur avec vanne complémentaire de décharge; un pertuis avec vanne de prise d'eau dans la levée droite de la rigole; une chute sur cette rigole immédiatement après le passage du ruisseau; enfin un pont pour le rétablissement des communications locales.

L'établissement du nouveau réservoir de Panthier a donc nécessité la construction d'ouvrages difficiles, compliqués et aussi nombreux que variés.

De l'ancien réservoir il n'a été conservé que le noyau en terre de la digue, qui a été incorporé dans la nouvelle digue, et l'aqueduc de vidange qu'on a dû prolonger de 35 mètres environ.

La dépense de cet ensemble d'ouvrages s'élèvera à 1,900,000 francs, savoir :

Travaux à l'entreprise	1,231,000 fr.
Dépenses en régie	311,000
Indemnité de terrain	358,000
Total pareil	1,900,000 fr.

Les projets du réservoir de Panthier ont été rédigés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Chenot, par M. l'ingénieur ordinaire Bazin.

Les travaux ont été exécutés par les mêmes ingénieurs, avec le concours de M. le conducteur Barbe, chef de chantier, assisté de MM. Guérin, conducteur auxiliaire, et Gaveau, employé secondaire des ponts et chaussées.

Ces travaux ont d'abord été adjugés le 6 août 1866 à M. Démonet, qui a obtenu en 1868, sur sa demande, la résiliation de son marché.

Ils ont été réadjugés en 1868 à MM. Lobereau, Meurgey et Grozelier, qui les ont repris et les achèveront cette année ou dans le courant de l'année prochaine.

XII.

MACHINES

POUR

L'ALIMENTATION DU CANAL DE L'AISNE À LA MARNE.

DESCRIPTION DE L'USINE DE CONDÉ-SUR-MARNE.

Dessins à des échelles variant de $\frac{1}{320\,000}$ à $0^{m},50$.

L'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne présentait de sérieuses difficultés.

Cette importante voie, qui rattache par le chemin le plus court les canaux de l'Est de la France au réseau navigable du Nord et de la Belgique, traverse sur tout son parcours les plaines ondulées de la Champagne. Ouvert dans la formation perméable de la craie blanche, le canal a dû être étanché d'un bout à l'autre de sa longueur pour être à l'abri des infiltrations. D'un autre côté, les ressources en eaux alimentaires de la région traversée étaient peu abondantes. Non pas que la Champagne manque d'eau, comme on le croirait volontiers d'après un examen superficiel; on en trouve au contraire, et beaucoup, dans les vallées les plus profondes, et toutes les observations conduisent même à admettre dans le sous-sol l'existence d'une immense nappe d'eau courante. Mais ces eaux sont loin d'avoir l'altitude qui

permettrait d'en faire usage pour l'alimentation du canal. On ne pouvait guère mettre à contribution, par une prise d'eau directe, qu'une petite rivière, la Vesle, déjà affectée au service de la ville de Reims et au travail de nombreuses usines. Ce fut, jusqu'en 1869, l'unique ressource du canal. Aussi la batellerie s'y trouvait-elle exposée à de longs chômages, et les basses eaux de la Vesle, à peine suffisantes pour les anciens besoins auxquels elles devaient satisfaire, laissaient régulièrement le canal à sec pendant le tiers et quelquefois pendant la moitié de l'année.

Pour fournir d'une manière certaine la quantité d'eau nécessaire, environ 600 litres par seconde, la seule solution admissible consistait à emprunter ce volume à la Marne, ce qu'on pouvait faire de deux manières : soit par une dérivation qui serait détachée de la Marne supérieure, ou d'un de ses affluents, et aurait amené en pente douce le volume demandé jusqu'au bief de partage; soit par l'emploi de machines élévatoires, puisant dans la Marne et refoulant l'eau à la hauteur de ce bief par une conduite de peu d'étendue.

Le premier projet n'était pas exécutable à cause de la faible pente de la vallée de la Marne, et du grand nombre de dépressions que la rigole eût dû franchir. Cette rigole aurait été aussi longue que le canal lui-même; ouverte, elle aussi, dans la craie blanche, elle eût exigé un étanchement continu. La dérivation de l'Ornain aurait donné lieu aux mêmes difficultés.

C'est donc au second projet qu'on s'est arrêté, en donnant la préférence aux machines hydrauliques sur les machines à vapeur. Les résultats obtenus ont parfaitement justifié ce choix. Un décret du 2 décembre 1865 déclara

l'utilité publique des travaux. L'adjudication eut lieu le 17 août 1867, et en octobre 1869 les machines commencèrent à fonctionner. Elles sont en pleine activité aujourd'hui, et permettent de jeter à volonté dans le bief de partage un volume limité à 1,200 litres par seconde. Et c'est ainsi qu'on a pu assurer de la façon la plus complète la continuité de la circulation sur une voie parcourue annuellement par plus de 400,000 tonnes.

Le système d'alimentation adopté comprend trois parties :

1° Le canal qui amène les eaux motrices de la Marne à l'usine;

2° L'usine qui renferme l'ensemble des machines motrices et des machines élévatoires;

3° Une conduite ascensionnelle et une rigole qui y fait suite jusqu'au bief de partage où les eaux sont déversées.

Nous passerons successivement ces divers objets en revue.

Canal d'amenée des eaux motrices. — La prise d'eau dans la Marne a lieu aux abords de la ville de Châlons. Un barrage, du système Louiche-Desfontaine, rejette une partie des eaux de la rivière dans les anciens canaux de la ville, qui forment la tête du canal d'amenée. Ce canal a une longueur totale de 18,368 mètres, sur lesquels 14,176 mètres ont été nouvellement construits. La pente en est réglée à 10 centimètres par kilomètre; le profil en travers de la cuvette présente une forme trapézoïdale de 8 mètres de largeur au plafond, avec des talus à 3 de base pour 2 de hauteur. Les formules de M. Bazin pour le mouvement uniforme des eaux dans les canaux découverts, formules suffisamment vérifiées par les jaugeages qu'on a pu faire après

coup, montrent que le canal, dans ces conditions de pente et de profil transversal, peut débiter jusqu'à 13,600 mètres cubes à la seconde, lorsque l'eau atteint $2^m,20$ de profondeur. Or les berges sont tenues partout à $2^m,60$ au moins, au-dessus du niveau du plafond, ce qui permettrait d'écouler un volume encore plus considérable. La cuvette a été revêtue de perrés dans les parties les plus exposées à souffrir de la rapidité du courant. De plus on l'a étanchée dans toute sa longueur, précaution indispensable dans un terrain aussi fissuré. Le procédé suivi de préférence pour ce dernier travail, dans les parties toujours couvertes d'eau, est l'étanchement à la craie corroyée, qui consiste à former le fond de la cuvette d'une série de couches crayeuses cylindrées après le cassage des plus gros morceaux, comme l'empierrement d'une route. Les ouvrages d'art du canal d'amenée méritent de fixer l'attention de l'ingénieur, et bien que ce sujet soit étranger à l'objet spécial qu'on a ici en vue, on mentionnera l'application aux arcs métalliques du système des articulations à la clef et aux naissances, dans lequel le constructeur suit exactement la répartition des efforts auxquels la matière est soumise, et qui, d'ailleurs, pour une construction en fonte présente une supériorité incontestable sur le système des arcs rigides.

En plan, le canal d'amenée, prolongeant le canal Saint-Martin qui lui sert d'origine, longe sur la plus grande partie de son étendue la rive droite du canal latéral à la Marne; il s'en détache à la hauteur de Juvigny pour serrer de plus près le coteau, passe auprès des villages de Vraux et d'Aigny, et vient enfin déboucher dans le bassin de l'usine élévatoire, en face du village de Condé, sur le versant gauche

de la vallée de l'Isse par laquelle se fait la descente en rivière du canal de l'Aisne à la Marne. Le niveau normal de l'eau dans le bassin de l'usine est à la cote $78^m,46$; l'étiage de la Marne, à Condé, à la cote $71^m,54$, et ses plus hautes eaux, qu'elle a atteintes encore dans la crue de janvier 1861, ne dépassent pas l'altitude de $75^m,34$. Ainsi le canal d'amenée réalise une chute qui varie de $6^m,92$, dans les eaux basses, à $3^m,12$ pendant les plus grandes crues.

L'eau de ce bassin se divise en trois parties. La première est l'eau motrice, qui subit la chute en traversant les appareils récepteurs de l'usine; la seconde est l'eau aspirée par les pompes, puis refoulée jusqu'au niveau du bief de partage par la conduite ascensionnelle; la troisième est le trop-plein du bassin, qui passe par un déversoir et va se réunir, dans un même canal de fuite, avec les eaux motrices sortant du récepteur. Ce canal de fuite passe sous le canal latéral à la Marne et va déboucher à peu de distance de là, dans la Marne elle-même. Toutes les précautions nécessaires ont été prises pour en préserver les parois contre l'effet destructeur des tourbillonnements. La voûte de l'aqueduc sous le canal latéral a été établie pour résister sans dangers aux sous-pressions auxquelles les crues exposent cet ouvrage.

Les appareils destinés à régler le niveau de l'eau dans le canal d'amenée comprennent un certain nombre de vannages qui permettent de modifier en plus ou en moins la quantité d'eau qui entre dans le canal, et d'en évacuer au dehors une partie plus ou moins grande. Les vannes sont en fonte; les ingénieurs ont donné dans tout ce travail la préférence à la fonte sur le fer, parce qu'elle résiste très-bien à l'action chimique de l'eau, tandis que le fer se laisse

oxyder rapidement dans l'eau de la Marne. La manœuvre des vannes se fait au moyen de vis en fer tournant dans des écrous de bronze; disposition qui permet à l'ouvrier d'arrêter sa manœuvre quand il le veut et sans avoir besoin d'aucun moyen d'arrêt pour empêcher la chute de la vanne. La manœuvre est, il est vrai, un peu plus lente, mais cette lenteur même est un avantage plutôt qu'un défaut, car elle évite aux canaux les chasses destructives qui s'y produiraient par l'affluence instantanée d'une trop grande masse d'eau par suite d'une manœuvre trop brusque. Grâce à cette lenteur l'effort à faire pour lever les vannes demeure très-petit, et n'excède nulle part les forces d'un seul homme.

Le niveau de l'eau dans le bassin de l'usine est réglé par un déversoir de superficie formé de deux lignes parallèles de plaques verticales en fonte, qui se réunissent en cercle à leurs extrémités, et qui sont entretoisées de manière à se fournir un mutuel appui. L'eau qui se déverse par-dessus les parois de cette sorte de caisse passe par trois tuyaux verticaux de un mètre de diamètre, qui plongent dans une sorte de puisard où l'eau perd sa vitesse par l'effet des tourbillonnements; un déversoir latéral, de 16 mètres de largeur, lui permet ensuite de retomber dans le canal de fuite sans qu'on ait à craindre la corrosion des berges. Les plaques du déversoir supérieur sont percées de quatre ouvertures dont on peut lever les vannes à volonté, et qui en temps ordinaire servent d'issue au trop-plein du bassin sans nécessiter le déversement. Le déversoir supérieur ne fonctionne que quand le débit de ces vannes devient insuffisant, ce qui arrive seulement dans les crues exceptionnelles. Dès que le niveau de l'eau s'élève à 7 centimètres au-dessus de sa hauteur

normale, le volume écoulé tant par les vannes que par-dessus l'arête supérieure atteint le maximum du débit du canal, $13^{mc},17$ par seconde.

Grâce à ce déversement superficiel qui s'établit de lui-même sans intervention d'aucun mécanisme, on peut regarder le niveau du bassin comme réglé à une cote à peu près invariable; la hauteur de l'eau n'est plus à la merci d'un oubli ou d'un défaut de vigilance des agents chargés de surveiller les autres appareils régulateurs.

Usine de Condé-sur-Marne. — L'usine comprend à la fois des machines motrices et des machines élévatoires.

Les machines motrices, au nombre de cinq, sont des turbines à axe vertical, du système Kœchlin, placées sur une même ligne droite, à des intervalles de 10 mètres d'axe en axe. Elles mettent en mouvement, par l'intermédiaire d'une roue d'angle, une série d'arbres horizontaux, placés en prolongement les uns des autres.

Les machines élévatoires sont au nombre de six; ce sont des pompes verticales à double effet, dont les pistons reçoivent, à l'aide d'une bielle et d'une manivelle, le mouvement emprunté à l'arbre horizontal des turbines. Elles sont entièrement au-dessous du plan de l'eau dans laquelle elles puisent.

Les six pompes sont partagées en trois groupes de deux, et réparties à droite et à gauche des trois turbines centrales; de sorte que chacune de ces turbines met directement en action les deux pompes voisines. On peut à volonté établir ou supprimer la liaison entre les différents tronçons de l'arbre tournant; à cet effet, on a réservé des moyens d'em-

brayage entre les boutons des manivelles qui mettent en mouvement deux pompes voisines. Les trois turbines centrales peuvent ainsi travailler indépendamment l'une de l'autre, comme trois machines isolées; ou bien on peut les rattacher en un seul système par l'embrayage des trois arbres successifs; on obtient alors une plus grande régularité du travail, par un règlement convenable des angles que font entre elles les six manivelles motrices.

Quant aux deux turbines extrêmes, ce sont des machines de renfort; on les embraye seulement pour les réunir aux trois turbines centrales, lorsque la hauteur de chute des eaux motrices est réduite à sa plus faible valeur, par suite d'une crue de la Marne. La puissance motrice diminue en proportion de cette réduction de la chute, et l'on obtient une compensation en introduisant dans le système moteur de nouveaux appareils qui utilisent un plus grand volume d'eau.

Le choix de la turbine, comme récepteur, était commandé par les grandes variations de la chute disponible. Entre tous les types connus, on a donné la préférence au système de M. Kœchlin, qui a l'avantage de se prêter au règlement du volume d'eau admis dans l'appareil, et de placer la couronne mobile dans une région où il est facile de la visiter et d'y faire les réparations nécessaires. Les turbines employées à Condé ont 2 mètres de diamètre; la largeur de la couronne qui donne passage à l'eau était primitivement de 30 centimètres, mais elle a été réduite à 20 centimètres, en rapportant dans le vide des orifices des pièces de fonte boulonnées, qui suppriment toute la zone inutile, et ramènent les dimensions de la turbine à celles qui conviennent le mieux pour le travail qu'elles ont à fournir.

Le vannage de la turbine Kœchlin est placé au bas de son tuyau fixe; c'est un diaphragme circulaire qu'on peut lever plus ou moins, suivant le débit dont on dispose, et qui agit comme un régulateur, ou plutôt comme un frein, quand le volume de l'eau motrice vient à décroître.

Chaque turbine est alimentée par un cabinet d'eau qu'on peut, au moyen de vannes, isoler entièrement du reste de l'usine, et qui, fermé et mis à sec, permet de visiter la machine et d'y faire les opérations d'entretien. Les parois du cabinet d'eau sont en fonte; elles forment un bâti rigide, et établissent la solidarité la plus absolue entre la turbine et les deux pompes qu'elle met en action. De cette façon un petit tassement dans les fondations de l'usine serait sans influence sur les transmissions de chaque turbine en particulier; il aurait pour unique effet d'en altérer légèrement la hauteur et l'inclinaison, sans rien modifier d'ailleurs à la position relative des organes qui la composent. A la vérité, une telle altération n'est pas indifférente aux liaisons qu'on peut établir entre les cinq machines, pour les faire travailler ensemble. Là encore, on a pu, en arrondissant suffisamment les portées des pièces de liaison sur les tourillons des machines voisines, leur donner assez de liberté pour suivre, sans déformation appréciable, les petits déplacements qui viendraient à se produire.

La rotation uniforme de l'axe vertical de chaque turbine est transmise à l'arbre horizontal par l'intermédiaire d'un pignon en fer et d'une roue d'angle en fonte; le pignon a un diamètre moyen de $0^m,628$; la roue, qui sert à la fois de volant et de roue motrice, a un diamètre de $5^m,984$. Chaque tronçon de l'arbre de couche est terminé par deux

manivelles à angle droit, de 50 centimètres de longueur jusqu'au centre du bouton; là s'articule la bielle des pompes; cette bielle, longue de $2^m,50$, va s'attacher à son autre extrémité à la tige des pompes, et communique ainsi au piston le mouvement alternatif.

Les pompes se composent d'un corps de pompe de $0^m,95$ de diamètre intérieur, au dedans duquel se meut un piston en fonte, creux, de $0^m,93$ de diamètre et d'un mètre de course. L'intervalle entre la paroi intérieure du cylindre et le pourtour du piston est occupé par un double cuir embouti, que la pression de l'eau appuie contre la paroi du cylindre; l'un des deux cuirs sert quand le piston remonte, l'autre quand il descend. Dans le principe, ces cuirs, placés simplement l'un au-dessus de l'autre, s'usaient en quelques mois, et se coupaient suivant leur ligne de flexion. On a essayé de les maintenir par une couronne en fonte remplissant exactement le pourtour du piston. Mais le chef mécanicien qui dirige ces machines, M. Marette, a trouvé un moyen de réduire l'usure; il interpose pour cela entre les deux cuirs un cercle en bronze, tourné, présentant dans la section méridienne la forme d'un fer à T. Grâce à ce perfectionnement les cuirs s'usent beaucoup moins vite, et l'on pense qu'ils pourront durer plus d'une année.

La disposition des clapets constitue le perfectionnement capital de ces appareils élévatoires. Il a fallu renoncer, après examen, à tous les systèmes précédemment employés. Dans presque tous, les soupapes abandonnées à elles-mêmes sont exposées à des chocs plus ou moins violents; appliquées aux pompes de Condé, elles auraient dû recevoir, pour suffire à l'importance du débit, des dimensions et des poids inadmis-

sibles. La solution à laquelle on s'est définitivement arrêté consiste à employer pour clapets de grandes valves rectangulaires, mobiles autour d'un arbre tournant, et capables de s'effacer complétement pour livrer passage à l'eau. L'arbre est prolongé en dehors des tuyaux d'accès, et reçoit l'action d'une tige à ressort, qui, reliée par des leviers coudés et par un excentrique à l'arbre de couche, agit sur le clapet et l'amène graduellement jusqu'à l'obturation complète, lorsque le piston, ayant atteint l'extrémité de sa course, va changer le sens de sa vitesse. Le clapet une fois fermé, se relève sous l'effort exercé en sens contraire par le ressort, dès que la marche rétrograde du piston a développé dans le cylindre une pression suffisante pour contre-balancer la pression de l'eau extérieure. Grâce à ce mécanisme dont l'idée est empruntée à la distribution des machines à vapeur, les clapets se ferment lentement et sans bruit, et s'ouvrent au contraire avec une grande rapidité. Comme l'eau se refuse à toute variation de volume, on a réservé, au centre de chaque grand clapet, un certain nombre de clapets plus petits, de 4 centimètres de largeur sur 16 de hauteur, et dont les mouvements restent libres; la levée de ces petites valves suffit pour laisser passer les derniers filets liquides lorsque le piston arrive à la fin de sa course, et que la vanne principale, en retombant sur son siége, interrompt brusquement le mouvement de la veine liquide. Un seul excentrique commande les mouvements des quatre clapets d'un même corps de pompe. La distribution est si parfaite, que l'on n'entend aucun choc, tant que les pompes ne battent pas plus de 9 coups de piston par minute. Les observations faites à l'aide de l'indicateur de Watt ont montré que chaque clapet

se lève brusquement, et qu'il reste stationnaire pendant les 93 centièmes de la course, puis qu'il retombe graduellement sur son siége. Ce sont les tiges à ressort qui contribuent à donner cette douceur aux mouvements; si on les supprime, les déplacements des clapets deviennent brusques, et des coups secs signalent au dehors à quels chocs les pièces sont exposées.

Les pompes sont à double effet, mais on peut fermer, par des vannes, les tuyaux qui correspondent à l'une des faces du piston. Alors le travail de la machine est réduit à moitié. La compression et la dilatation alternatives du volume d'air emprisonné dans le cylindre constituent un travail inutile sans doute, mais il est assez petit pour qu'on puisse le négliger, et cette disposition double la flexibilité d'allure des machines.

L'eau des pompes est refoulée par un tuyau spécial dans un gros tuyau de $1^{m},10$ de diamètre, qui forme la base de la conduite ascensionnelle. Ce gros tuyau est surmonté de trois réservoirs d'air, de $5^{m},20$ de hauteur et de $1^{m},10$ de diamètre, contenant environ 14 mètres cubes d'air chacun; l'intervention de ce matelas élastique régularise la pression de l'eau dans la conduite ascensionnelle, et évite les chocs vifs, qui autrement se répéteraient à chaque coup de piston.

Conduite ascensionnelle et rigole des eaux alimentaires. — La conduite ascensionnelle fait suite au tuyau de $1^{m},10$ de l'usine; elle comprend deux files de tuyaux de 80 centimètres, qu'on peut fermer à volonté au moyen de robinets-vannes, qu'on peut vider séparément par un robinet de décharge, et qu'on peut enfin visiter intérieurement par des

tubulures ménagées de 100 en 100 mètres de distance. Chaque tuyau a une longueur utile de 4 mètres; les joints sont formés d'après le système à cordon et emboîtement de la ville de Paris; c'est celui qui se prête le mieux aux tassements qu'il faut toujours prévoir dans une conduite posée à plat au fond d'une fouille. La longueur de la conduite est de 621 mètres. Elle débouche dans une tour en maçonnerie où l'eau s'élève à la cote de 97,55 environ. Cette tour est la tête de la rigole alimentaire qui, d'abord portée sur une série d'arcades en maçonnerie de 3 mètres d'ouverture, gagne bientôt le niveau du sol et suit jusqu'au bief de partage le vallon d'Isse, sous une pente uniforme de 15 centimètres par kilomètre; son profil transversal a une forme trapézoïdale de $2^{m},20$ de largeur au fond, de $1^{m},25$ de hauteur et de $2^{m},40$ de largeur en tête. Le fond est entièrement bétonné. Les parois latérales sont de petits murs en maçonnerie. L'épaisseur donnée à ces murettes était bien insuffisante pour préserver de la gelée la craie qui s'appuie sur ce revêtement. Aussi, après l'hiver si rigoureux de 1870-1871, pendant lequel l'invasion rendait toute surveillance impossible, on a trouvé que la rigole avait subi quelques avaries; les murettes chassées vers l'intérieur de la rigole par la poussée de la gelée avaient pris du surplomb, et le radier s'était fendu sur plusieurs points. On a remis les choses en état après la guerre, et, pour éviter le retour de pareils accidents, on a fait derrière les murettes une fouille que l'on a comblée avec du béton, ou simplement avec du gravier. Enfin, on a placé de distance en distance, au-dessus de la rigole, de petits arceaux en briques et ciment, dont la poussée contre-bute le rapprochement des parois.

La rigole alimentaire, longue de 7,605 mètres, peut débiter jusqu'à 1,237 litres à la seconde, quand l'eau y atteint la hauteur de $1^{m},10$.

Il reste, pour achever cette description, à faire connaître le rendement de l'usine, et à établir le compte des dépenses qu'elle a entraînées, tant pour le premier établissement que par l'exploitation courante.

Le volume d'eau que l'usine élève à la hauteur de $19^{m},09$ varie de 600 à 1,200 litres par seconde. En tenant compte des résistances des tuyaux ascensionnels et de la charge qui pèse inutilement sur les orifices, on reconnaît que le travail utile à produire varie, suivant le débit, de 12,132 kilogrammètres à 28,668 kilogrammètres. On a déterminé, par une série d'expériences, le rendement des pompes en volume, c'est-à-dire le rapport du volume d'eau monté à la somme des volumes engendrés par le déplacement alternatif des pistons; on l'a trouvé variable de 0,948 à 0,971; le déchet, de 5 p. o/o au maximum, est attribué à la présence d'un certain volume d'air qui reste emprisonné dans les chapelles des clapets d'aspiration. On peut le réduire en évacuant cet air à l'aide de robinets de purge. Mais il faut remarquer que la présence de cet air, qui, en se détendant, restitue le travail qu'il a subi pour se comprimer, est sans influence sensible sur le rendement mécanique des appareils.

Ce rendement, le plus utile à considérer pour l'appréciation du système adopté, peut être déterminé par le calcul ou par l'observation. Il est variable avec la levée plus ou moins grande de la vanne située à la base des turbines. Lorsque la vanne est levée de 5 centimètres environ, le rendement cal-

culé est de 0,407; le rendement observé est de 0,39. Quand la vanne est entièrement levée, le calcul donne 0,664 et l'observation 0,67. L'expérience confirme ainsi la théorie, et montre la turbine fonctionnant alors dans les conditions les plus favorables. L'influence du vannage, qui agit comme un frein sur le rendement de l'appareil élévatoire, montre l'utilité qu'il y avait à adopter cinq turbines, au lieu d'une; cette disposition permet de faire varier, entre des limites très-étendues, le volume des eaux motrices sans recourir aux étranglements qui seraient nécessaires pour corriger l'effet de ces variations sur un seul et même appareil. Comme on l'a dit, l'usine se prête à toutes les variations de la cote des eaux d'aval et du volume de l'eau utilisée, sans que jamais les conditions mécaniques dans lesquelles elle travaille deviennent défavorables. L'embrayage des tronçons de l'arbre de couche et la suppression du double effet, pour un certain nombre de pompes, suffisent pour donner au système élévatoire cette élasticité d'allure qui en est une des plus précieuses propriétés.

Les dépenses de premier établissement se résument comme il suit :

Frais généraux	25,847f,87
Acquisition de terrain, indemnités	368,190 06
Canal d'amenée	777,282 47
Canal de fuite, déversoir et bâtiments de l'usine	350,360 31
Abords et dépendances	68,621 75
Conduite ascensionnelle	130,248 45
Rigole	333,557 07
Machines élévatoires	483,092 72
TOTAL	2,537,200 70

D'un autre côté, les dépenses annuelles d'exploitation sont :

Traitement et salaire du personnel		9,300f,00
Graissage et nettoyage des machines	5,039f,71	6,366 77
Garniture des pistons et des presse-étoupe	513 00	
Chauffage et éclairage	814 06	
Entretien des machines, des canaux, des bâtiments		4,333 23
TOTAL		20,000 00

Le tableau suivant fait ressortir la dépense, rapportée à 1,000 mètres cubes d'eau montés par jour à 1 mètre de hauteur, pour l'usine de Condé-sur-Marne et divers autres établissements analogues, mis en mouvement par une chute d'eau ou par une machine à vapeur. Le résultat de cette comparaison est tout à l'avantage des dispositions adoptées par le service du canal de l'Aisne à la Marne.

DÉPENSES COMPARÉES.

DESIGNATION DES SERVICES.	VOLUME MOYEN monté par jour.	HAUTEUR MOYENNE d'ascension.	DÉPENSE par 1,000 mètres cubes montés à 1 mètre.
	mètres cubes.	mètres.	fr. c.
USINES HYDRAULIQUES.			
Usine de Condé-sur-Marne, 2e semestre 1871.	50,523	20,22	0,0534
—— de Saint-Maur [1], *idem*.....	43,866	59,65	0,067
—— des Îles-les-Meldeuses [2], *idem*.....	24,896	11,73	0,109
—— de Trilbardou [3], *idem*.....	18,526	14,92	0,212
—— de Saint-Maur, année 1869, réparations comprises.....	38,789	58,45	0,147
—— des Îles-les-Meldeuses [2], *idem*.....	15,538	11,83	0,300
—— de Trilbardou, *idem*.....	12,885	14,92	0,230
USINES À VAPEUR.			
Relèvement des eaux du canal de jonction de la Sambre à l'Oise [4].			
Usine de Landrecies, en 1862.....	20,488	1,85	1,150
—— d'Ors, *idem*.....	23,795	2,62	1,020
—— de l'Abbaye, *idem*.....	24,756	2,98	0,810
Établissements de la ville de Paris.			
Austerlitz [5], en 1869.....	14,182	62,54	0,325
Chaillot [6], *idem*.....	25,372	50,43	0,613
Maisons-Alfort [7], *idem*.....	2,321	65,65	0,451
Port-à-l'Anglais [8], *idem*.....	2,937	72,90	0,431
Ourcq [9], *idem*.....	3,978	47,28	0,482

(1) Trois turbines Fourneyron et quatre turbines Girard.
(2) Deux turbines Girard.
(3) Une roue de côté et une roue Sagebien.
(4) Vis d'Archimède, mises en mouvement par des machines à vapeur de 20, 30 et 35 chevaux de force nominale.
(5) Machine de 136 chevaux effectifs.
(6) Machine de 200 chevaux effectifs.
(7) Machine de 23 3/4 chevaux effectifs.
(8) Machine de 33 chevaux effectifs.
(9) Machine de 29 chevaux effectifs.

Les travaux de l'usine de Condé ont été projetés par MM. Dureteste, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et Gérardin, ingénieur ordinaire. Ils ont été surveillés par MM. Minguin, Lacour, Métayer et Lamaudière, conducteurs. L'entreprise des travaux des machines a été confiée à M. Claparède et à son ingénieur, M. Boulogne, qui se sont très-bien acquittés de leur tâche.

XIII.

ÉCLUSE DE L'AUBOIS.

(CANAL LATÉRAL À LA LOIRE.)

REMPLISSAGE ET VIDANGE D'UN SAS AU MOYEN DE COLONNES LIQUIDES OSCILLANTES.

(PROCÉDÉ INVENTÉ PAR M. LE MARQUIS DE CALIGNY.)

Dessins à des échelles variant de $0^m,0005$ à $0^m,20$.

On sait que chaque passage par une écluse retire du bief d'amont un volume d'eau représenté par un parallélipipède ayant pour base la section horizontale du sas, et pour hauteur la chute de l'écluse.

Le système inventé par M. le marquis de Caligny, et appliqué à l'écluse de l'Aubois, a pour but de diminuer cette dépense en faisant remonter l'eau du bief d'aval dans le sas, quand il s'agit de le remplir, et en faisant en partie remonter l'eau du sas dans le bief d'amont quand il s'agit de le vider.

Ce système utilise les propriétés connues des liquides oscillants, ainsi que cela va être expliqué ; son étude se rattache à la question de l'alimentation des canaux.

L'appareil consiste :

1° En un aqueduc bélier, en plein cintre, de $1^m,20$ de largeur et de $1^m,55$ de hauteur sous clef; cet aqueduc

a son radier au niveau du bief d'aval dont le mouillage est de $1^m,80$, de sorte que l'intrados à la clef est à environ 25 centimètres sous le niveau du bief d'aval. Cet aqueduc, qui décrit presque un demi-cercle d'une tête à l'autre, débouche du côté d'aval dans la chambre des portes d'aval où il présente un élargissement, et du côté d'amont dans deux réservoirs séparés et situés en arrière de la chambre des portes d'amont.

2° En un fossé de décharge, appelé aussi bassin d'épargne, qui part de l'un des deux réservoirs dont il vient d'être question, et communique par une vanne avec le bief d'aval, tandis que l'autre réservoir communique avec le bief d'amont.

3° En deux tubes verticaux mobiles, ouverts à leurs deux extrémités, et reposant sur deux ouvertures circulaires ayant à peu près le même diamètre que les tubes, et percés dans la voûte de l'aqueduc; l'un de ces tubes est placé dans le réservoir qui communique avec le bief d'aval, et l'autre dans le réservoir qui communique avec le bief d'amont. Tous deux s'élèvent à 10 centimètres au-dessus du bief d'amont. Le tube d'aval a $1^m,48$ de diamètre et $3^m,57$ de hauteur, le tube d'amont a $1^m,40$ de diamètre et $2^m,97$ de hauteur.

Quand ces tubes sont descendus sur leurs siéges, l'extrémité d'amont de l'aqueduc se trouve fermée. Si l'on soulève le tube d'amont, l'eau du bief d'amont entre dans l'aqueduc; si, au contraire, on soulève le tube d'aval, l'eau du sas peut sortir par l'aqueduc et entrer dans le bassin d'épargne, ou inversement, suivant les niveaux respectifs du sas et du bassin.

Voici maintenant comment se fait la manœuvre :

S'agit-il de vider le sas, on soulève le tube d'aval; les eaux du sas parcourent l'aqueduc et viennent en sortir sous ce tube pour entrer dans le bassin d'épargne supposé au niveau du bief d'aval. Après avoir tenu le tube ainsi soulevé pendant quelques secondes, pour donner à l'eau le temps de prendre sa vitesse, on le laisse retomber sur son siége; l'eau de l'aqueduc ne trouvant plus d'issue sous le tube s'élève dans son intérieur, ainsi que dans l'intérieur du tube d'amont, et vient déverser à leur sommet dans le réservoir qui communique avec le bief d'amont. Ainsi, par suite de la force vive de la masse liquide en mouvement dans l'aqueduc, une partie de l'eau du sas est remontée dans le bief d'amont. Quand cette première oscillation a cessé de produire un déversement, on recommence la même manœuvre en soulevant de nouveau le tube d'aval; une nouvelle colonne d'eau sort du sas; puis on interrompt encore son écoulement sous le tube, et une nouvelle oscillation produit un nouveau déversement dans le bief d'amont. A mesure qu'on répète cette manœuvre le sas se vide, partie dans le bassin d'épargne et de là dans le bief d'aval, partie dans le bief d'amont : la différence de niveau qui détermine l'oscillation est donc de plus en plus faible, et par suite la hauteur de l'oscillation et la durée du déversement, à chaque nouvelle ouverture. Il arrive un moment où l'eau que fait déverser une oscillation est insignifiante pour l'épargne : à ce moment on peut achever la vidange en ouvrant d'une manière continue le tube d'aval; mais on peut aussi opérer autrement de manière à produire une nouvelle épargne : on ferme la vanne qui fait communiquer le bassin d'épargne et le bief d'aval, et on lève le tube d'aval; il s'éta-

blit entre le bassin et le sas une grande oscillation en vertu de laquelle l'eau monte dans le bassin plus haut que le bief d'aval, et baisse dans le sas au-dessous de ce dernier bief; on baisse le tube d'aval à la fin de cette grande oscillation. On a ainsi enfermé dans le bassin d'épargne une tranche d'eau qui servira au remplissage suivant du sas, et on a produit dans le sas une dénivellation qui permet aux portes d'aval de s'ouvrir spontanément.

La tranche d'eau obtenue à l'Aubois par cette oscillation finale a été de 15 centimètres d'épaisseur.

S'agit-il de remplir le sas : on commence par employer la tranche d'eau emmagasinée dans le bassin d'épargne. Pour cela on soulève le tube d'aval, et l'eau, étant plus élevée dans le bassin que dans le sas, s'y rend, en produisant une oscillation à la fin de laquelle le niveau est plus élevé dans le sas que dans le bassin, et plus bas dans celui-ci que dans le bief d'aval; de sorte que ce premier volume introduit dans le sas comprend non-seulement celui qui a été épargné pendant la vidange précédente, mais encore un autre pris sur le bassin d'épargne, c'est-à-dire sur le bief d'aval.

A la fin de cette oscillation initiale on laisse retomber le tube d'aval, et l'on procède ensuite d'une autre manière.

On soulève le tube d'amont, l'eau du bief d'amont entre dans l'aqueduc et se dirige vers le sas; quand, au bout de quelques secondes elle a acquis sa vitesse, on laisse retomber le tube d'amont et on lève en même temps le tube d'aval; l'eau en mouvement dans l'aqueduc produit alors l'effet connu d'aspiration sur l'eau du bassin d'épargne qui a été remis en communication avec le bief d'aval, et l'entraîne

par une oscillation dans le sas; de sorte que le volume entré dans ce dernier se compose d'une partie prise sur le bief d'amont pour engendrer la vitesse, et d'une partie prise sur le bief d'aval, en utilisant cette vitesse. A la fin de l'oscillation on laisse retomber le tube d'aval, on relève le tube d'amont et une nouvelle oscillation ramène dans le sas un nouveau volume; on continue ainsi jusqu'à ce que l'affaiblissement de la chute entre l'amont et le sas ne donne plus que des oscillations insignifiantes; alors on maintient le tube d'amont soulevé et l'on achève ainsi le remplissage. Ce soulèvement prolongé produit lui-même une oscillation finale, en vertu de laquelle l'eau monte dans le sas plus haut que dans le bief d'amont, et fait ouvrir spontanément les portes d'amont.

L'écluse de l'Aubois, qui fonctionne depuis 1868, a permis de constater :

1° Que sept ou huit oscillations suffisent pour emplir ou vider le sas en cinq ou six minutes;

2° Que pour le remplissage, et sans se servir de la réserve du bassin d'épargne, le volume d'eau pris au bief d'aval est moyennement de 0,41 V, et que le volume pris au bief d'amont est moyennement de 0,59 V, en désignant par V le volume total introduit dans le sas : l'épargne de cette manœuvre est donc à peu près des $\frac{2}{5}$ de l'éclusée;

3° Que pendant la vidange le volume envoyé dans le bief d'amont est d'environ 0,386 V, et celui envoyé dans le bief d'aval de 0,614 V, sans se servir de l'oscillation finale.

La somme des volumes épargnés dans les deux manœuvres est de $(0,41 + 0,386)\,V = 0,796\,V$.

En utilisant les grandes oscillations finales l'épargne atteint 0,90 V.

Le système d'écluse de M. de Caligny procure donc une grande épargne d'eau; il ne produit ni abaissement dans les biefs courts, ni vitesse exagérée dans les passages étroits; et constitue un ingénieux emploi des propriétés des liquides en mouvement.

Son application à l'Aubois a coûté environ 40,000 francs. Mais la disposition des lieux et la nature du sol ont présenté des difficultés particulières; et c'est surtout à ces causes qu'il faut attribuer l'élévation de la dépense.

L'aqueduc à oscillations pourrait être un peu diminué de longueur et placé le long du bajoyer; on réaliserait ainsi une économie considérable[1].

[1] Voir pour plus de détails le *Cours de navigation intérieure* de M. de Lagrené, t. III, p. 124 et suivantes, sur les aqueducs à colonnes liquides oscillantes, en général, et sur l'application faite à l'écluse de l'Aubois, en particulier.

XIV.

BARRAGE DU BAN

CONSTRUIT

PAR LA VILLE DE SAINT-CHAMOND POUR LE SERVICE

DE SES FONTAINES.

Dessins à des échelles variant de 0^m, 000075 à 0^m, 20.

La ville de Saint-Chamond a fait construire sur le Ban (affluent du Gier) un barrage destiné à emmagasiner, dans un vaste réservoir, les eaux nécessaires à son alimentation municipale et aux besoins industriels.

Cet ouvrage présente une grande analogie avec le barrage du Furens, établi au Gouffre-d'Enfer, et qui a figuré à l'Exposition universelle de 1867. Il n'en diffère que par sa hauteur moindre, sa largeur plus grande et enfin par son épaisseur réduite, la pression ayant été portée à 8 kilogrammes par centimètre carré, au lieu de 6 kilogrammes.

Il est également entièrement en maçonnerie ordinaire, sauf les parapets, et il a été construit avec des schistes assez médiocres.

La hauteur des eaux n'est que de 42 mètres (au lieu de 50), limitée par un déversoir latéral de 30 mètres sur lequel s'écoulent les eaux en excès.

La capacité du réservoir n'a pas encore été régulièrement

déterminée, elle est comprise entre 1,700,000 et 2 millions de mètres cubes.

Les eaux sont amenées au moyen d'un tunnel de 60 mètres pratiqué dans le rocher auquel s'attache une des extrémités du barrage. On y a logé deux tuyaux de 40 centimètres de diamètre, encastrés dans la maçonnerie, et terminés chacun par deux appareils de sûreté : l'un est une valve que l'on peut fermer de manière à boucher le tuyau; l'autre est un robinet Herdevin. Les tuyaux se suppléent mutuellement. Ils se déversent dans une rigole maçonnée ouverte, d'où l'on envoie à volonté les eaux à la rivière ou à un aqueduc maçonné qui les conduit à Saint-Chamond.

Un pont de service a facilité l'exécution des travaux.

Les dépenses se sont élevées à 955,000 francs, sur lesquels l'État a payé 200,000 francs et la ville de Saint-Chamond 755,000 francs. La ville a employé en outre 450,000 francs aux travaux de l'aqueduc et de la distribution d'eau, soit en tout, à sa charge, 1,205,000 francs.

Le produit actuel de la vente des eaux (indépendamment des services municipaux qui naturellement sont pourvus gratuitement) dépasse 83,000 francs, sans que l'eau disponible soit entièrement vendue. Les industries de la ville ont d'ailleurs reçu un développement énorme, et pour ainsi dire inespéré. Ces eaux sont merveilleusement propres à la teinture, et elles ne produisent pas d'incrustation dans les chaudières; on les utilise en ce moment pour le monte charge hydraulique d'une usine considérable.

Le succès d'une opération de ce genre, exécutée presque sans le concours de l'État par une ville de second ordre, mérite d'être signalé.

Un seul inconvénient doit être noté : les eaux se troublent facilement par certaines pluies d'orage qui suivent le thalweg des terres supérieures. Le flot boueux se rendait directement aux tuyaux de prise. Un de ces tuyaux a reçu un coude et un tuyau vertical qui empêchent cette introduction directe, et permettent de puiser à un niveau plus élevé sans mélange avec le fond. Depuis lors l'eau est beaucoup plus satisfaisante. Un travail préventif est en outre projeté à l'amont pour produire l'arrêt des troubles.

De 1866 à 1869, le barrage du Ban a été dirigé par M. Graeff, alors ingénieur en chef, aujourd'hui inspecteur général, et de 1869 à 1871, par M. Lagrange, ingénieur en chef, qui lui a succédé.

Les travaux ont été exécutés sous les ordres immédiats de M. de Montgolfier, ingénieur ordinaire.

Les conducteurs qui y ont pris part sont MM. Odin (Étienne), Duplay, Calliat et Lauru.

Les entrepreneurs étaient MM. Plagnol et Guillon, Brunet, Garnuchot, Edant et Flicoteaux.

La chaux provenait de l'usine de Cruas, appartenant à MM. Combe et Bayle.

Le ciment a été fourni par M. Gariel.

XV.

PORT DU HAVRE.

BASSIN DE LA CITADELLE.

Dessins à des échelles variant de $0^m,001$ à $0^m,04$.

Dispositions générales. — Le nouvel établissement maritime dont le Havre vient d'être doté a été construit sur l'emplacement de l'ancienne citadelle; de là, le nom par lequel il a été désigné.

Spécialement destiné aux opérations de chargement et de déchargement des caboteurs à vapeur, cet établissement comprend :

1° Un bassin à flot de 6 hectares de superficie, offrant au commerce un développement linéaire de 1,320 mètres de quais, bordés de vastes terre-pleins propres au dépôt des marchandises, desservis par de larges voies de circulation; ce bassin communique, à l'est, avec le bassin de l'Eure par une écluse simple; à l'ouest, avec l'avant-port par un sas éclusé ou bassin de mi-marée;

2° Trois formes de radoub de dimensions graduées;

3° Deux écluses de chasse, destinées à entretenir le libre accès du chenal dans le cas où, temporairement, les ressources annuelles consacrées aux dragages du port viendraient à faire défaut.

A ces travaux se rattache encore la construction, dans l'avant-port, d'un mur de quai, de 145^{m},40 de longueur, reliant la tête aval des canaux de chasse avec les abords de la grande écluse des transatlantiques.

Description des ouvrages. — Pour déterminer les dimensions des ouvrages, on a pris, pour type des navires à admettre dans le bassin de la Citadelle, un steamer de 70 mètres de longueur environ, de 8 à 9 mètres de largeur au maître bau, tirant de 4^{m},50 à 5 mètres d'eau.

On a de plus considéré que les petits et les moyens navires, qui forment les neuf dixièmes du mouvement maritime au Havre, manquaient de moyens commodes et économiques de se réparer. La forme de radoub du bassin de l'Eure, de 30 mètres de largeur à l'entrée, 10 mètres de creux au-dessus du seuil au haut radier, et 130 mètres de longueur sur tins, exige trop de temps et d'argent, précisément à cause de ses grandes dimensions, pour l'accorage et l'asséchement des navires de moyen tonnage.

A l'égard des écluses de chasse, destinées à suppléer celles de la Floride dont la suppression est depuis longtemps décidée, il n'y avait pas d'autre parti à prendre que d'adopter, pour les nouveaux ouvrages, les dispositions des anciens, sauf à incliner le radier des canaux de fuite de telle sorte que le seuil de l'orifice extérieur fût au niveau même du plafond de l'avant-port.

Ces bases admises, on a fixé comme il suit les dimensions principales des ouvrages :

Les trois écluses de navigation ont uniformément 16 mètres de largeur mesurée à la cote correspondant au niveau du

couronnement des murs du quai du bassin à flot (1 mètre au-dessus des pleines mers de vives eaux d'équinoxe); les bajoyers ont été inclinés au huitième, c'est-à-dire de 125 millimètres par mètre de hauteur.

Le seuil ou haut radier de l'écluse d'aval du sas ou bassin de mi-marée a été placé au niveau même du plafond de l'avant-port, soit à $1^{m},65$ en contre-bas du zéro des cartes marines, ou bien encore à $10^{m},80$ au-dessous du repère ci-dessus déterminé. D'un autre côté, le repère d'ouverture et de fermeture des portes de la même écluse ayant été fixé à $5^{m},30$ au-dessus du seuil, les navires tirant 5 mètres d'eau peuvent entrer dans le sas, et de là passer dans l'un quelconque des bassins à flot, quatre heures et demie après le plein de la mer, c'est-à-dire trois heures environ après la fermeture des écluses de marée. Au départ, les avantages sont analogues; et, en fait, les navires sortent du sas au moment même où les steamers de Honfleur, Trouville et Caen quittent leurs postes de stationnement dans l'avant-port et prennent la mer.

Il eût été inutile de donner aux écluses d'amont du sas et de communication avec le bassin de l'Eure la même profondeur qu'à l'écluse d'aval du sas; la hauteur en a été réduite de $10^{m},80$ à $8^{m},50$, et leur seuil arasé à 65 centimètres en contre-haut du zéro des cartes; de sorte que, par les plus faibles pleines mers de mortes eaux, les navires de 5 mètres de calaison puissent librement franchir les écluses.

Les dimensions du sas sont de 80 mètres de longueur et 55 mètres de largeur. Les murs de quai ont $11^{m},30$ de hauteur normale au-dessus de la fondation. Le pied du mur, et par suite le plafond du sas, se trouvent ainsi placés à

50 centimètres en contre-bas du seuil de l'écluse d'aval; et, grâce à cette disposition, les vases que le flot apporte dans le port pourront se déposer au fond du sas, sans que, de longtemps, il soit nécessaire de recourir à des dragages pour assurer les évolutions des navires. Le remplissage du sas s'effectue simultanément par quatre vantelles triples, ménagées dans les portes de l'écluse d'amont, et par deux aqueducs, de $1^{m},94$ de section chacun, qui s'ouvrent sur le haut radier; l'opération dure dix minutes, en moyenne. Deux aqueducs de la même section que les précédents servent à vider le sas, c'est-à-dire à abaisser le plan d'eau à la cote $5^{m},30$ au-dessus du haut radier de l'écluse d'aval; trente-cinq minutes sont nécessaires pour cette seconde opération.

Le bassin à flot est partagé en deux parties par un quai double. La partie nord, destinée à servir de chenal d'évolution entre les bassins de l'Eure et de la Citadelle, a 110 mètres de largeur; la partie sud a été réduite à 80 mètres, et l'intervalle compris entre l'extrémité du quai double et l'entrée des formes a été porté à 100 mètres. Les murs de quai ont uniformément 9 mètres de hauteur, entre le couronnement en granit et le dessus de la fondation. Le pied des murs, et par suite le plafond du bassin, se trouvent ainsi placés à 15 centimètres en contre-haut du zéro des cartes, c'est-à-dire à 50 centimètres en contre-bas du seuil des écluses d'amont du sas et de communication avec le bassin de l'Eure; conséquemment, de longues années s'écouleront avant que les dépôts de vase, qu'apporte la mer montante, puissent entraver les évolutions des navires dans le bassin à flot.

Les trois formes qui constituent le nouvel établissement de radoub ont été construites sur la rive sud-ouest du bas-

sin de la Citadelle. Elles ont respectivement 45, 55 et 70 mètres de longueur sur tins d'échouage; — 11, 13 et 16 mètres de largeur à l'écluse d'entrée, mesurée au niveau du couronnement; — 7, 7,50 et 8 mètres de creux au-dessus du seuil ou haut radier de l'entrée; les bajoyers des écluses et les rives des formes sont inclinés au huitième. La montée de l'eau, en 1873, variera de $3^m,70$ à $5^m,80$ pour la forme n° 1; de $4^m,20$ à $6^m,30$ pour la forme n° 2; et de $4^m,70$ à $6^m,80$ pour la forme n° 3 (*marées des 11 mars et 16 avril 1873, d'après l'Annuaire*).

Les formes sont fermées par des bateaux-portes en tôles et cornières, couronnés d'une passerelle, et munis de vannes concourant à leur remplissage. Chaque forme est mise en communication directe, d'une part, avec l'avant-port, au moyen d'aqueducs fermés de doubles vannes métalliques dont l'orifice s'ouvre au pied même du haut radier de l'écluse d'entrée; et, d'autre part, avec un puisard commun dans lequel fonctionne une pompe à vapeur [1].

En vives eaux, les trois formes s'assèchent complétement à la basse mer au moyen des aqueducs qui débouchent dans l'avant-port. En mortes eaux, il n'en est plus ainsi, et il reste à enlever par la pompe une tranche d'eau dont la hauteur est de $1^m,90$ pour la forme n° 1, de $2^m,40$ pour la forme n° 2, de $2^m,90$ pour la forme n° 3. La pompe débitant 12 mètres cubes à la minute, l'opération est rapidement terminée. Quant à la consommation du charbon, elle n'a jamais dépassé 200 kilogrammes par asséchement dans les conditions les plus défavorables.

[1] Une seconde pompe à vapeur, identique à celle qui fonctionne actuellement, sera montée dans le puisard à la fin de la présente année 1873.

Enfin l'établissement est clos de grilles et entouré de halles où les matériaux de toute nature peuvent être travaillés commodément à l'abri des intempéries.

Les deux écluses de chasse sont placées l'une à côté de l'autre, et s'ouvrent, dans le bassin de la Citadelle, entre l'écluse d'amont du sas et la forme n° 3; et dans l'avant-port, près du musoir sud de l'écluse d'aval du sas. Elles ont $6^{m},20$ de largeur uniforme, et 7 mètres de hauteur. Les radiers sont horizontaux et arasés à $2^{m},15$ en contre-haut du zéro des cartes, sur 28 mètres de longueur à partir de la tête d'amont; puis ils s'inclinent suivant une pente régulière de manière à atteindre, à l'orifice d'aval, le niveau même du fond de l'avant-port ($1^{m},65$ en contre-bas du zéro). La différence totale de niveau, de l'amont à l'aval, s'élève ainsi à $3^{m},80$. Outre le bassin de la Citadelle, le réservoir d'alimentation des chasses comprend le bassin de l'Eure, le Dock-Entrepôt et le bassin Vauban, soit en totalité 39 hectares de superficie. D'après cela, en abaissant d'un mètre seulement la tenue des bassins, ce qui en vives eaux ne gênerait en rien la navigation, les deux écluses de chasse permettraient de jeter à basse mer, dant l'avant-port, l'énorme volume de 390,000 mètres cubes d'eau. Chaque écluse est d'ailleurs fermée d'une porte tournante et de doubles vannes levantes. Les portes s'ouvrent et se ferment par la seule action du courant; les vannes ont pour objet de soustraire les portes à l'agitation de l'avant-port.

Le mur de quai de l'avant-port a de 10 à 11 mètres de hauteur au-dessus de la fondation. Il sert temporairement à l'amarrage des relâcheurs qui viennent chercher au Havre un refuge contre le mauvais temps.

Mode d'exécution des ouvrages. — A l'exception du mur de l'avant-port qui a été construit à la marée, tous les travaux du bassin de la Citadelle ont été exécutés à l'abri de batardeaux, dans des fouilles constamment entretenues à sec par des pompes à vapeur.

Du côté du bassin de l'Eure, le batardeau était formé par le mur du quai ouest du bassin même, dont la construction remontait à l'année 1858, et offrait les plus complètes garanties de solidité.

A l'extrémité opposée, le chantier était limité par le vieux mur est de l'avant-port, dont les mortiers étaient entièrement décomposés et qui avait subi des tassements considérables. Pour suppléer au défaut de résistance et d'étanchéité de ce mur, il a fallu créer de toutes pièces, à la marée, dans l'avant-port même, un batardeau d'une étendue suffisante pour couvrir à la fois l'emplacement du musoir nord de l'écluse d'aval du sas et celui de la culée sud des canaux de chasse. L'exécution de cet ouvrage, dont le développement linéaire était de 207 mètres, n'a pas exigé moins de vingt mois. Deux files de pieux parallèles ont d'abord été battues pour servir de points d'attache aux fermes en charpente, sur lesquelles étaient cloués les madriers formant le revêtement extérieur du batardeau. Les fermes ont ensuite été reliées transversalement entre elles par des cours de longrines; et à chaque angle du polygone formé par la construction on a installé un double cours de poutres en tôles et cornières. Sur ces poutres s'assemblaient des tirants de retenue, dont les points d'attache étaient fixés soit directement à terre, en arrière du vieux mur, soit à des faisceaux de pieux battus en avant du mur. De plus, et afin

d'augmenter la résistance des pieux de rive au renversement, et de soustraire au délavage les terres argileuses destinées à former le massif même du batardeau, une risberme de moellons fut jetée dans l'avant-port au pied même de la construction; un véritable mur en pierres sèches fut même élevé en arrière des bordages du masque en charpente, jusqu'à l'arasement des pièces inclinées qui soutenaient à la tête les arbalétriers des fermes. Grâce à ces dispositions, le batardeau a parfaitement rempli l'objet pour lequel il avait été construit; et, lorsque le tassement des terres fut terminé, il acquit une compacité telle qu'une partie du vieux mur put être démolie, et les fouilles de la tête d'aval des canaux de chasse descendues à $5^{m},85$ en contre-bas du zéro des cartes, c'est-à-dire à 15 mètres de profondeur totale, sans provoquer d'accidents d'aucune sorte.

Pendant que se construisait le batardeau de l'avant-port, le creusement des fouilles de la partie nord du bassin à flot et des principaux ouvrages d'art se poursuivait activement.

Pour tenir les fouilles à sec, trois pompes à vapeur, actionnées par des locomobiles, avaient été installées sur la rive nord du chantier; l'une à l'extrémité est du bassin à flot, et les deux autres côte à côte, au centre même du sas éclusé. Les eaux élevées par les pompes, et formant ensemble un volume total de 9,272 litres par minute, étaient rejetées dans le fossé septentrional de l'ancienne citadelle transformé en réservoir, d'où elles s'écoulaient dans l'avant-port, à la mer baissante, au moyen d'un aqueduc fermé d'une vanne et de clapets.

De même que la plaine basse sur laquelle le Havre s'est

développé, l'emplacement de la citadelle a été formé par le dépôt successif d'alluvions maritimes et fluviales.

En procédant de haut en bas, on trouve une couche épaisse d'argile sableuse mêlée de bancs de tourbe, puis du sable fin et des amas de galets dont la grosseur croît depuis le gravier jusqu'au moellon.

Les épaisseurs des diverses couches d'alluvions sont d'ailleurs essentiellement variables. Ainsi le bassin à flot tout entier a été creusé dans l'argile tourbeuse; l'écluse de communication entre les bassins de l'Eure et de la Citadelle, les formes de radoub n°s 2 et 3, ont été fondées sur le sable; la tête aval de l'écluse d'amont du sas et les quatre cinquièmes du mur sud du sas, sur le galet. Mais dans l'emplacement du mur nord du sas, de l'écluse d'aval et de la tête aval des canaux de chasse, le terrain solide se dérobait brusquement, comme si les courants marins y eussent jadis creusé une fosse profonde. Là, le galet se rencontrait à 18, 20 et même 24 mètres en contre-bas de l'arête des quais, c'est-à-dire, en nombre rond, à 9, 12 et 15 mètres au-dessous du zéro des cartes marines.

Des sondages multipliés avaient révélé à l'avance la situation exacte des choses, et le mode de fondation avait été déterminé d'après la nature du terrain, en tenant compte également du plus ou moins de sujétion des ouvrages.

Le premier soin a été d'abaisser rapidement le plan des eaux d'infiltration au niveau de la couche de gros galets, de manière à assécher partout les sables fins et les petits galets ou graviers sur lesquels ils reposent. Ce résultat obtenu, le chantier a été complétement drainé dans toute son étendue; partout les bétons qui constituaient les massifs de fondation ont été posés à sec; aucun éboulement ne s'est

produit; et la sécurité était telle que l'entrepreneur des travaux de terrassement et de maçonnerie installa, au fond même du bassin à flot, un four à chaux et une vaste briqueterie. Cette situation, dont l'importance n'a pas besoin d'être signalée aux constructeurs, est le résultat de la bonne installation des appareils d'épuisement, et du procédé suivi pour le creusement des puisards dans lesquels plongeaient les tuyaux d'aspiration des pompes. Au lieu d'enceintes de pieux et de palplanches jointifs, battus à l'avance, adoptées jusqu'alors au Havre, il a été fait usage d'anneaux en tôle et cornières superposés, et chargés du poids énorme de 30 tonnes de rails. Sous l'action de cette surcharge, les anneaux traversèrent rapidement les couches d'argile et de sable, et, en contraignant les eaux à sourdre dans le galet, prévinrent les déplacements latéraux des sables fins, et par conséquent la formation d'excavations souterraines et les éboulements.

Ainsi desséché, le sable constituait une excellente fondation, et aucun tassement ne se manifesta dans les radiers, ni dans les rives ou bajoyers de l'écluse et des deux formes, dont la fondation en béton reposait directement sur le terrain naturel. Soustraits à l'action des sources de fond, les bétons ont fait prise dans les meilleures conditions possibles, et pas une goutte d'eau ne se trouve dans les rigoles des formes, lorsque le temps est sec.

L'argile elle-même, grâce au drainage puissant auquel elle avait été soumise, présentait une telle résistance que, sans provoquer de déchirures, on a pu élever les murs de quai du bassin à flot sur un simple massif de béton d'un mètre d'épaisseur, sans grillages ni pilotis.

Mais ces procédés si simples n'ont pu être suivis pour la forme n° 1, le quai nord du sas, l'écluse d'aval du sas et la tête aval des canaux de chasse. Là, le terrain solide était à une trop grande distance du dessus de la plate-forme de fondation, le poids des maçonneries et la sujétion des ouvrages trop grands, pour que l'on pût se permettre de poser le béton directement sur l'argile. Il a fallu se résoudre à piloter les plates-formes de manière à condenser le sous-sol, et à reporter le poids des constructions sur le terrain incompressible. La feuille de dessin sur laquelle l'écluse d'aval du sas a été représentée montre à cet égard les dispositions qui ont été suivies.

De tous les ouvrages qui dépendent du bassin de la Citadelle ou s'y rattachent, le mur de quai de l'avant-port est le seul, comme on l'a vu, qui n'ait pu être exécuté à l'abri des batardeaux.

La hauteur totale de ce mur, fondation comprise, varie de $11^{m},50$ à $12^{m},50$; la longueur est de $145^{m},40$. La fouille a été divisée en quatre parties, dans le sens de la longueur, de manière à diminuer le volume des eaux à épuiser à chaque basse mer, et à augmenter la durée de travail utile des terrassiers et des maçons. Pour un motif analogue, et malgré l'inconvénient d'exposer des talus sans défense à l'action des courants et des lames, la partie supérieure de la fouille, sur 6 mètres de hauteur, a été creusée à ciel ouvert, et le surplus entre blindages. Seulement, comme il n'était pas possible d'employer le mode ordinaire d'étayement, on a dû, avant de commencer le déblai, battre deux files de pieux parallèles à droite et à gauche des lignes de la fondation du mur, de manière à pouvoir appliquer les bor-

dages contre les talus au moment même où la fouille était ouverte. On a prévenu ainsi tout éboulement. Malgré ces précautions, la construction du mur de l'avant-port a été extrêmement laborieuse à partir du moment où l'on rencontra les sables fins. Le drainage, qui avait si bien réussi pour le creusement du bassin de la Citadelle, était impossible à pratiquer dans une fouille envahie deux fois par jour par la mer. De plus, par suite de l'agitation des eaux de l'avant-port, les rigoles et le puisard s'emplissaient de vases, de terres, et même de fragments de tourbe arrachés aux talus non blindés, et il en résultait de fréquentes interruptions des épuisements. Néanmoins, malgré toutes les difficultés, le mur a été solidement établi, et aucun tassement ne s'y est produit depuis la construction.

Les ouvrages ont été exécutés très-économiquement. Ainsi l'emploi du granit, la seule pierre de taille dont il soit fait usage au port du Havre, a été réduit aux couronnements et aux escaliers, aux chardonnets, aux buscs, aux feuillures des écluses, et aux bordures des gradins des formes. Les chaînes de briques ont été réduites à 60 centimètres d'épaisseur moyenne, et les massifs intérieurs ont été exécutés en moellons tirés des coteaux voisins de la ville. Quant au béton, il a été composé de trois parties de galet de la plage et de deux parties de mortier.

Les massifs de fondation, les maçonneries de briques et de granit sont les seuls ouvrages pour lesquels il ait été fait usage de mortier en ciment de Portland. Le dosage du ciment, par mètre cube de sable, variait d'ailleurs de 400 à 600 kilogrammes suivant la sujétion des travaux. Pour les autres maçonneries, on a exclusivement employé des mor-

tiers de chaux moyennement hydraulique du pays, au dosage de $0^m,65$ de chaux éteinte en poudre par mètre cube de sable.

Quelques nombres suffiront pour que l'on apprécie l'importance des travaux dont la description sommaire vient d'être donnée.

Le volume total des déblais extraits des fouilles s'est élevé à 959,447 mètres cubes, et celui des maçonneries de toute nature à 178,973 mètres cubes.

Il a été battu 7,120 pieux, dont 295 pour la construction du batardeau de l'avant-port.

Le volume des charpentes provisoires pour étayement des fouilles, passages à travers les rigoles d'écoulement des eaux, etc., s'est élevé à 8,362 mètres cubes.

Enfin, il a été employé 20,168 tonnes de ciment de Portland pour le travail tout entier; et les frais d'épuisement, y compris l'acquisition et l'installation du matériel, se sont élevés à 516,198 francs.

Entreprises accessoires. — Parmi les entreprises accessoires se rattachant à la construction du bassin de la Citadelle, trois méritent une mention spéciale; ce sont celles qui ont eu pour objet :

Les ponts tournants;

Les portes des écluses de navigation et de chasse;

Les bateaux-portes qui ferment les écluses des formes de radoub.

Ponts. — Les ponts, au nombre de deux, de dimensions identiques, franchissent, l'un l'écluse d'aval du sas, l'autre

l'écluse de communication entre les bassins de l'Eure et de la Citadelle. Ces ponts ont été établis en tôles et cornières avec tabliers en charpente. Ils ont $35^m,17$ de longueur, $6^m,94$ de largeur en œuvre, et consistent en deux poutres de tête, formant garde-corps, de hauteur croissante depuis les extrémités jusqu'au point de plus grande tension; ces poutres sont reliées transversalement par des poutrelles, renforcées de goussets et de contreventements, sur lesquelles est boulonné le plancher de bois croisé qui supporte la double voie charretière, les deux trottoirs et le bourrelet de séparation entre les deux voies.

Chaque voie charretière comprend une double ornière de 55 centimètres de largeur, revêtue de feuilles de tôle d'acier assemblées par des boulons à tête fraisée, et destinée au passage des roues des voitures. Entre les deux ornières est comprise la voie des chevaux. Cette voie, de 1 mètre de largeur, est revêtue de planchettes de bois d'orme, taillées à redans de manière à assurer le pied des chevaux et à prévenir les accidents.

Les ponts n'ont qu'une seule volée, et tournent autour d'un pivot scellé dans la maçonnerie de l'écluse, en s'appuyant à la fois sur une roulette placée à l'extrémité de la culasse, et sur l'une ou l'autre des deux roulettes qui embrassent le pivot.

Quatre hommes, poussant l'extrémité de la culasse, suffisent à tourner le pont. L'opération complète : décalage, ouverture, arrêt, fermeture et calage, n'exige d'ailleurs que trois minutes et demie à quatre minutes.

Les ponts offrent une très-grande rigidité. Ils ont été éprouvés au moyen de doubles convois composés de quatre

camions à un cheval, chargés de 4,000 kilogrammes, et de deux autres camions à deux chevaux, chargés de 8,000 kilogrammes. Or, dans les conditions les plus défavorables, alors que le double convoi était lancé au trot, la flexion maximum des poutres de tête n'a atteint que 2 millimètres.

Le poids total de chaque pont, y compris le lest de 21,588 kilogrammes, est de 119,152 kilogrammes.

Portes des écluses de navigation et de chasse. — Par suite de leur petite dimension, les portes des écluses de navigation n'ont présenté aucune difficulté sérieuse d'exécution.

Elles sont à doubles vantaux et formées d'un cadre en chêne dont les montants sont réunis par des entretoises en sapin. Sur les entretoises s'appuie un bordé rigide également en sapin. Outre les tenons d'assemblage, la liaison des diverses parties de l'ouvrage est assurée au moyen de cours de ceintures et d'une double écharpe en fer forgé.

Par raison d'économie, les entretoises ont été formées de deux pièces, l'une droite, l'autre courbe. Au milieu du vantail, la largeur de l'entretoise est de 62 centimètres; elle se réduit à 43 centimètres près des poteaux tourillon et busqué.

Les portes d'amont ont $7^{m},40$ de hauteur totale. Le dessus de l'entretoise supérieure a été arasé au niveau même de la pleine mer de vives eaux ordinaires, c'est-à-dire à $7^{m},85$ au-dessus du zéro des cartes. En mortes eaux, la porte émerge de $2^{m},15$.

Les portes d'aval ont été arasées à 50 centimètres en contre-bas du dessus des portes d'amont; elles ont $9^{m},25$ de

hauteur totale et 9 mètres au-dessus du seuil de l'écluse. Et, comme le repère de manœuvre a été fixé à $5^m,30$ en contre-haut du même point, il en résulte qu'au moment où les portes s'ouvrent ou se ferment, elles émergent de $3^m,70$. Pour atténuer autant que possible les conséquences d'une situation aussi défavorable, les dimensions des écharpes et des ceintures ont été augmentées, et l'on a transformé toute la partie immergée de la porte en un véritable flotteur, en la formant d'entretoises superposées les unes aux autres. Une roulette en acier a d'ailleurs été établie au pied du poteau busqué; mais la confiance qu'inspirait le mode de construction était telle, que la roulette a été calée à un centimètre en contre-haut du chemin qui lui avait été préparé au fond de l'écluse. L'expérience a justifié ces prévisions; après vingt-neuf mois d'immersion, les portes se manœuvrent avec la même facilité que le premier jour; aucune dénivellation ne s'est manifestée dans les entretoises, et il a été constaté que l'intervalle entre la roulette et le chemin en granit n'avait pas diminué.

Afin de les mettre à l'abri des attaques des vers, tous les bois ont été enduits d'une triple couche de peinture à base métallique et mailletés, selon les cas, en pointes fines ou en clous à maugères, jusqu'au niveau correspondant à la pleine mer de morte eau.

Les portes et vannes des écluses de chasse reproduisent les dispositions consacrées par un assez long usage au Havre.

Chaque porte tournante est formée d'un vantail de $5^m,70$ de hauteur et de $6^m,16$ de largeur, partagé en deux parties inégales, par l'axe vertical autour duquel s'effectue la rotation; la différence de largeur est de 6 centimètres. Dans le

plus grand côté se trouve ménagée une vantelle tournante dont les dimensions sont calculées de telle sorte qu'en l'ouvrant la pression de l'eau devienne prépondérante sur le petit vantail de la porte principale.

Bateaux-portes. — Pour fermer les écluses des formes de radoub, il a été fait usage de bateaux au lieu de portes.

Les portes sont très-rarement étanches, et, dans le cas de réparation importante, il faut les décrocher et les remonter sur cale, opération toujours longue et onéreuse. De plus, pour loger les vantaux, les mettre à l'abri des abordages, et résister à la réaction qu'ils transmettent aux bajoyers, il faut donner aux maçonneries de l'écluse un développement d'une importance autrement considérable que lorsqu'il s'agit de bateaux-portes auxquels suffit une simple feuillure ménagée dans le radier et les bajoyers.

A ces avantages, qui ne sauraient être contestés, une seule considération peut être opposée : la fermeture des écluses exige plus de temps avec un bateau qu'au moyen de portes.

Le fait est exact; mais, en réalité, la perte de temps est sans importance, puisque la manœuvre des bateaux peut s'effectuer pendant que le navire à radouber s'amarre dans la forme et prend ses repères d'échouage.

Les trois bateaux-portes de la Citadelle ont été construits en tôle et cornières, d'après les dispositions en usage pour les navires en fer. Les membrures, formées de cornières accouplées en Z, sont assemblées sur la quille et reliées par de fortes varangues, une carlingue, des ceintures longitudinales, un pont étanche, une passerelle et des croix de Saint-

André. Sur les cornières, des feuilles de tôle rivées à clins constituent le bordé et assurent l'étanchéité de la coque.

Le pont étanche partage chaque bateau en deux parties distinctes. La partie inférieure, formant flotteur, contient le lest et doit être constamment à sec. Le lest est d'ailleurs réglé de telle sorte qu'abandonné à lui-même le bateau flotte au niveau du pont étanche. La seconde partie peut à volonté être tenue à sec ou mise en communication avec l'eau du bassin à flot. A cet effet, deux ou trois vannes, suivant les dimensions du bateau, s'ouvrent de chaque côté de la coque, au niveau du pont étanche. Dans le même compartiment, et sous la passerelle, se trouve une caisse dont le fond est au-dessus des plus hautes marées, et qui sert à recevoir l'eau destinée à faire couler le bateau.

Pour obtenir ce résultat, les vannes étant ouvertes, il suffit d'introduire de l'eau dans la caisse supérieure. Immédiatement l'équilibre est troublé; l'eau du bassin pénètre par les vannes dans le compartiment supérieur, au-dessus du pont étanche, et le bateau s'enfonce jusqu'à ce que le poids du volume déplacé par les tôles et les cornières soit égal au poids de l'eau introduite dans la caisse. Et, comme dans le cas le plus défavorable le volume déplacé est très-peu important, il suffit, en définitive, d'une petite quantité d'eau pour échouer le bateau.

Le bateau est-il mal coulé et veut-on le relever? On ouvre alors les bondes de la caisse supérieure, et, au fur et à mesure que celle-ci se vide, le bateau se relève en rejetant par les vannes l'eau qui s'est écoulée de la caisse.

Le poids total des tôles et des cornières employées à la construction des bateaux est de 45,036 kilogrammes pour

le bateau-porte n° 1, de 58,844 kilogrammes pour le bateau n° 2, et de 83,886 kilogrammes pour le bateau n° 3. Les autres métaux : fers forgés, fontes, cuivre-bronze, interviennent respectivement pour 24,661 kilogrammes, 43,966 et 76,432 kilogrammes. Les bois de la passerelle, et ceux de la fourrure qui revêt les deux faces des étambots et porte le paillet ou tresse de cordage destinée à assurer l'étanchéité des feuillures de l'écluse, forment un volume de 27 mètres cubes $\frac{73}{100}$ pour le bateau-porte n° 1, de 32 mètres $\frac{44}{100}$ pour le bateau n° 2, et de 38 mètres $\frac{48}{100}$ pour le bateau n° 3.

Durée des travaux. — L'avant-projet des travaux de construction du bassin de la Citadelle a été directement présenté à M. le Ministre des travaux publics par la Chambre de commerce du Havre, le 19 novembre 1863.

Le 13 août 1864, un décret prononçait le déclassement de la citadelle, et réglait les bases d'après lesquelles les projets définitifs des ouvrages devaient être dressés.

Ces projets, embrassant la construction complète du bassin et de ses annexes, répartis en sept lots d'entreprise, furent terminés le 31 décembre 1864. Le 20 juin suivant, ils étaient l'objet d'une décision approbative de la part de M. le Ministre des travaux publics, et le 28 août 1865 les deux premiers lots d'entreprise étaient adjugés.

Au mois de juin 1870, sauf le mur de l'avant-port et à part quelques pavages et empierrements, et les bateaux-portes, tous les travaux étaient terminés et l'on commença les préparatifs nécessaires pour introduire l'eau dans le nouveau bassin.

Par raison de prudence, et afin de se réserver la possibilité de vider le bassin à flot, s'il survenait quelque accident dans les maçonneries, le batardeau de l'avant-port fut laissé intact, et l'eau fut introduite au moyen de brèches ouvertes à la partie supérieure du mur-batardeau du bassin de l'Eure.

L'opération eut lieu le 12 juillet 1870; elle dura huit heures.

Comme les maçonneries demeurèrent intactes, une brèche fut rapidement ouverte à travers le batardeau de l'avant-port de manière à laisser passer les portes de l'écluse d'amont du sas. La mise en place eut lieu le 16 juillet.

Le 27 septembre suivant les portes de l'écluse d'aval du sas furent posées à leur tour; et quatorze mois plus tard, le 5 décembre 1871, le mur de l'avant-port étant achevé et la passe ouverte du côté de l'avant-port, le nouvel établissement fut inauguré par la Chambre de commerce. Pendant l'année 1872, le mur-batardeau du bassin de l'Eure, ainsi que les vestiges du batardeau de l'avant-port, ont été démolis. On a de plus creusé l'avant-port en avant du mur de quai neuf.

Afin de permettre l'emploi de la poudre dans la démolition du mur-batardeau du bassin de l'Eure, et achever commodément les musoirs de l'écluse de communication entre les deux bassins, une coupure de 1 mètre de largeur environ avait été faite à chaque extrémité du mur avant l'introduction des eaux dans le bassin de la Citadelle. Pour exécuter ces coupures à l'abri des eaux, on avait employé deux masques en charpente de $8^{m},50$ de hauteur et 2 mètres de largeur, formés d'un assemblage de poutres reproduisant

le profil exact du mur de quai, et sur lesquelles on avait cloué plusieurs bandes découpées dans des couvertures de laine. Chaque masque était soutenu au niveau de la pleine mer de morte eau par une double traverse reposant sur deux tasseaux en fer forgé; de plus, des écrous et des boulons avaient été disposés de manière à rendre la jonction du mur et du masque aussi étanche que possible. Le succès de l'opération fut complet. Dès qu'au moyen d'un trou de sonde percé au pied du mur l'eau se fut écoulée entre le mur et le masque, celui-ci, pressé par l'eau du bassin, s'appliqua si fortement contre les maçonneries que la plus grande partie de la démolition fut exécutée à sec, et que les infiltrations se manifestèrent seulement à la partie inférieure, en un point correspondant au changement de fruit du mur.

Quant au vieux mur de l'avant-port, nulle difficulté ne se présenta. La partie supérieure enlevée, une pompe à vapeur fut installée de manière à épuiser rapidement les eaux que chaque marée amenait dans la fouille. Le travail se continuait ainsi à sec, à l'abri de batardeaux formés par les vases accumulées le long du mur, du côté de l'avant-port, et par les terres de l'ancien terre-plein qui avaient été conservées précisément dans ce but.

Enfin, les pieux et palplanches du batardeau et du vieux mur ont d'abord été arrachés au moyen de leviers à branches inégales, puis de chalands, de 480 tonnes de déplacement, à l'extrémité desquels les pieux étaient attachés par des chaînes à la mer basse.

Dépenses. — Le bassin de la Citadelle tout entier, tel

qu'il vient d'être décrit, et en y comprenant la démolition des batardeaux et les dragages de l'avant-port, a coûté 9,881,768 fr. 36 cent. ainsi répartis :

Terrassements et maçonneries	6,780,843f	69c
Fournitures de ciment de Portland	1,322,295	29
Égouts, pavages et empierrements	658,406	82
Poteaux d'amarrage, vannes, grilles et candélabres	85,503	78
Ponts tournants	116,769	92
Portes et vannes des écluses de navigation et de chasse	329,082	03
Bateaux-portes	215,504	35
Appareils d'épuisement des formes	55,000	00
Dragages et démolitions dans l'avant-port	283,362	48
Démolition du mur-batardeau du bassin de l'Eure	35,000	00

Ces dix entreprises ont été confiées à MM. C. Girard; Johnson et Cie; Lancesseur, Pinard et Cie; Leturc et Baudet; Voruz, Perrin; Nillus et Letestu; Escarraguel, Roulet et Duffieu, et Wantins.

Le bassin à flot a coûté 3,376,800 francs, y compris l'écluse de communication avec le bassin de l'Eure, les épuisements, la part proportionnelle des frais généraux, les terre-pleins et les rues de service, les poteaux d'amarrage et les candélabres à gaz. Comme le développement de quais qu'il présente est de 1,320 mètres, le prix du mètre courant de quai ressort ainsi à 2,558 francs. La superficie de la nappe d'eau étant de 6 hectares, on voit que chaque hectare revient à 562,800 francs.

Le sas éclusé : quais, écluses, musoirs, terre-pleins et accessoires compris, a coûté 2,705,340 francs. Dans ce prix, l'écluse d'aval intervient pour 507,582 francs.

Les trois formes de radoub complètes, avec les aqueducs de vidange, le puisard, les appareils d'épuisement, les bateaux-portes, les halles de travail, les grilles de clôture, les terre-pleins, prêtes en un mot à être livrées à l'exploitation, ont donné lieu à une dépense de 1,928,887 francs.

Le compte relatif aux ponts tournants fait ressortir une dépense totale de 116,769 fr. 92 cent. Mais de ce chiffre il faut retrancher une somme de 2,526 fr. 58 cent. pour frais d'exploitation et d'entretien. La dépense réellement afférente aux ponts se réduit ainsi à 114,243 fr. 34 cent., soit, pour chaque pont, à 57,121 fr. 67 cent., et par mètre linéaire de voie à 1,623 fr. 24 cent., ou par mètre carré recouvert à 235 fr. 63 cent.

Parmi les dépenses relatives à la sixième entreprise, deux prix seulement doivent être mentionnés : ceux des portes des écluses de navigation du sas; les portes d'amont ont coûté tout compris 66,009 francs, et les portes d'aval 96,905 francs.

Les dépenses concernant les trois bateaux-portes figurent au tableau récapitulatif pour 215,504 fr. 35 cent. Mais de cette somme il faut retrancher 22,392 fr. 87 cent., qui représentent les frais d'exploitation en régie, au profit de l'État, des formes de radoub, à partir du 5 décembre 1871 jusqu'au 20 octobre 1872; puis, des honoraires d'expert et des frais divers, de telle sorte qu'il reste net 193,111 fr. 48 cent. pour le prix des trois bateaux.

Dans cette somme, le bateau n° 1 intervient pour 45,101 fr. 51 cent., le bateau n° 2 pour 60,190 fr. 23 cent. et le bateau n° 3 pour 87,819 fr. 74 cent.

Exploitation du bassin de la Citadelle. — En regard de ces dépenses, il convient de montrer les résultats acquis. Le nombre des lignes distinctes de bateaux à vapeur, qui ont pris place dans le bassin de la Citadelle, est actuellement de dix; et le développement linéaire des quais, provisoirement affectés au stationnement des navires à voiles, est réduit à 255 mètres.

Or, les quais ne sont point encore abrités de hangars, ni reliés par des voies ferrées à la gare de l'Ouest et aux grands entrepôts publics de marchandises. La faveur dont jouit le bassin provient donc uniquement des avantages que procure le sas pour l'entrée et la sortie des navires. Ainsi se trouve justifiée l'innovation que le bassin de la Citadelle a réalisée sous ce rapport au Havre.

Les formes de radoub, après avoir été exploitées au profit de l'État pendant dix mois, comme on l'a déjà dit (exploitation qui s'est soldée par un bénéfice net de 34,472 fr. 15 cent.), ont été affermées, en adjudication publique, le 12 octobre 1872, avec la grande forme de radoub du bassin de l'Eure, moyennant un loyer annuel de 74,400 francs. Le bail a été conclu pour neuf années consécutives; et, outre le prix ci-dessus rappelé, le fermier aura à sa charge l'entretien de tout le matériel et de tous les ouvrages, les maçonneries exceptées. Il payera de plus les impôts dont seront frappées les constructions, et qui s'élèveront à 7,000 fr. environ par an.

Antérieurement à l'adjudication du 12 octobre dernier, la grande forme du bassin de l'Eure, la seule dont le Havre fût doté, rapportait à l'État, suivant bail passé en adjudication publique, la somme annuelle de 3,005 francs. Sans

doute ce prix était notablement inférieur à la valeur réelle de la location. Mais le succès relatif de la dernière adjudication n'en doit pas moins être attribué aux facilités d'exploitation et aux avantages divers que présentent les petites formes de la Citadelle.

L'avant-projet qui a été, comme on l'a vu, directement présenté par la Chambre de commerce, a été dressé par M. Bellot, ingénieur ordinaire, avec le concours de MM. les conducteurs Goëlo et Renout.

Les projets définitifs des sept entreprises principales (terrassements et maçonneries, fourniture de ciment de Portland, égouts, pavages et empierrements, ouvrages en fonte, ponts tournants, portes des écluses de navigation et de chasse, bateaux-portes) ont été dressés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Van-Blarenberghe, par M. Bellot, ingénieur ordinaire, avec le concours de MM. les conducteurs Leconte, Goëlo, Renout, Rebour et Siret. Les projets des deux entreprises accessoires (creusement de l'avant-port et démolition du mur-batardeau) ont été dressés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Hérard, par M. Bellot, aidé de MM. les conducteurs Goëlo, Renout et Simony, ce dernier remplaçant M. Siret, décédé le 30 novembre 1870.

Quant aux travaux, ils ont été exécutés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Hérard, par M. Bellot, ingénieur ordinaire, avec le concours de MM. les conducteurs Leconte, Goëlo, Renout, Rebour, Siret et Simony.

XVI.

CAISSON DU BATARDEAU DU BASSIN DE BREST.

Dessins à des échelles variant de $0^m,004$ à $0^m,10$.

La forme de radoub désignée sous le nom de bassin de Brest était, avant sa récente reconstruction, la plus ancienne de ce port. Elle avait été construite sous Louis XIV, à l'extrémité d'un petit ravin qui débouche dans la Penfeld, et les mémoires du temps font connaître que cette construction, exécutée à l'abri d'un batardeau, avait présenté les plus sérieuses difficultés.

Dans ces dernières années, par suite de la transformation du matériel naval, et de l'augmentation progressive apportée à la longueur ainsi qu'au tirant d'eau des navires, le bassin de Brest était devenu à peu près inutile; il ne servait plus guère qu'aux très-petits bâtiments. Et cependant la proximité de la rade et la facilité de son accès auraient pu lui permettre de se prêter, mieux que tout autre, à la visite des navires armés.

Les avantages de cette situation ont naturellement fait naître l'idée de le reconstruire, et de mettre ses dimensions en rapport avec celles des nouveaux vaisseaux. Le projet de cette reconstruction a été demandé à la direction des travaux hydrauliques du port de Brest, par dépêche ministérielle du 10 décembre 1863.

Le tableau qui suit met en regard des dimensions prin-

cipales de l'ancien bassin celles qui ont été admises pour le nouveau, et indique la nature de la transformation à effectuer :

	ANCIEN BASSIN.	NOUVEAU BASSIN.
	mètres.	mètres.
Longueur du bassin, depuis le heurtoir du bateau-porte jusqu'à l'extrémité	75,00	112,70
Largeur de l'écluse	18,00	21,72
Tirant d'eau sur le seuil de l'écluse dans les plus petites hautes mers de morte eau	5,20	8,50

Ce tableau comparatif fait voir tout l'intérêt du travail dont il s'agit. Il montre, par exemple, qu'un navire dont le tirant d'eau atteint $8^{m},50$, c'est-à-dire un des plus grands vaisseaux de la flotte, peut entrer à toute marée avec son armement dans le nouveau bassin de Brest, tandis qu'il n'aurait jamais pu entrer dans l'ancien.

S'il avait été possible de prolonger cet ancien bassin et d'exécuter tous les travaux en amont de son écluse, la construction n'aurait présenté aucune difficulté spéciale, puisqu'elle se serait effectuée à l'abri du bateau-porte. Mais la configuration des lieux ne permettait pas d'adopter cette solution; il a fallu se résoudre à prolonger l'ancien bassin à l'aval de l'écluse et, par suite, à construire un batardeau pour pouvoir établir à sec la partie la plus importante des ouvrages.

Ce batardeau, nécessairement formé d'un mur en maçonnerie, devait être d'abord construit par épuisements

dans une enceinte de pieux et palplanches. Mais, par suite de la perméabilité excessive du terrain et de la grande profondeur à laquelle descendait le fond rocheux (11^{m},50 environ au-dessous du niveau moyen de la mer), ce système échoua complétement et on dut en chercher un autre.

Ce premier insuccès avait augmenté encore les difficultés du travail, en encombrant l'emplacement du batardeau de pieux, palplanches, cadres d'étrésillonnement et autres matériaux qu'il fallait enlever pour établir le mur.

En présence de ces difficultés, le Conseil des travaux de la marine, sur l'avis de M. l'inspecteur général Collignon, décida que l'ouvrage serait fondé au moyen de l'air comprimé.

M. Castor, constructeur, déjà connu par des travaux de ce genre, fut appelé. Il étudia la question et, sur un projet qui fut dressé, d'accord avec lui, par M. Reynès, ingénieur des travaux hydrauliques au port de Brest, il soumissionna à forfait l'exécution des travaux.

Dispositions du projet et description du caisson à air comprimé. — Ainsi qu'il a été dit plus haut, le batardeau devait être établi en travers du débouché d'un petit ravin formant une échancrure naturelle dans la rive de la Penfeld. En cet endroit, le fond rocheux plongeait progressivement sous l'eau, à partir des deux côtés du ravin, jusqu'à une profondeur de 8 mètres environ au-dessous du niveau des plus basses mers.

Sur le côté nord du ravin, une portion de mur en maçonnerie avait pu être fondée par épuisements et constituait une bonne amorce pour le batardeau. Du côté sud, un

simple corroi en terre glaise avait été établi sur la partie où le rocher émergeait au-dessus du niveau des plus basses mers. La distance de ce corroi au mur fondé par épuisements était de 25 mètres environ.

On s'est arrêté à l'idée de boucher cet espace au moyen d'un caisson unique de 27 mètres de longueur sur $8^{m},50$ de largeur; de relier ce caisson, à ses deux extrémités, soit aux maçonneries déjà faites, soit au rocher naturel; et d'établir sur le tout un mur général.

Il est inutile de décrire les profils adoptés pour les maçonneries; les dessins donnent, à cet égard, des indications assez claires. Il suffit donc de faire la description du caisson.

A la partie inférieure de ce caisson se trouvait une vaste chambre de travail, fortement consolidée par des armatures intérieures et notamment par deux arcs en tôle, qui en divisaient la longueur en trois parties égales. Une cheminée, surmontée d'un sas à air, correspondait à chacune de ces parties.

Au-dessus de cette première chambre, il s'en trouvait une seconde régnant sur une longueur de 21 mètres seulement, et destinée à faciliter le démontage de la partie du caisson qui devait être enlevée à la fin des travaux pour dégager l'entrée du bassin.

La partie inférieure, comprenant la première chambre de travail, devait, en effet, être descendue assez bas pour ne gêner en rien le passage des navires; en sorte qu'on a trouvé plus d'avantage à la conserver, comme une sorte de mur de garde en avant du radier de l'écluse, qu'à l'enlever. Tel est le motif qui a fait admettre cette disposition d'une double chambre de travail, et d'un caisson en deux parties,

dont une formant elle-même un caisson indépendant et reliée à l'autre par des boulons.

Au-dessus de la seconde chambre de travail se trouvait le compartiment à air libre, formant une enceinte qu'on pouvait rendre étanche quand on le voulait, et dans laquelle il était possible de travailler à la marée et par épuisements. Ce compartiment était aussi divisé en deux parties, l'une de 21 mètres de longueur, correspondant à la portion du caisson qui devait être enlevée, et l'autre de 6 mètres, engagée dans l'alignement du mur de quai et destinée à rester en place. La hauteur totale du caisson était de $10^{m},50$.

A chacune de ses extrémités, on avait ménagé trois grandes rainures, de 1^{mq} de section, qui descendaient verticalement jusqu'au plafond de la chambre inférieure, et dont la face opposée au rocher se prolongeait, à partir de ce point, par un plan incliné, de manière à venir se raccorder avec la tranche du caisson.

Ces rainures étaient ouvertes du côté qui faisait face au rocher; elles étaient destinées, en y coulant du béton, à établir une liaison étanche entre le caisson et la paroi de ce rocher. Un regard, pratiqué à leur partie inférieure, dans la face inclinée dont on vient de parler, avait été ménagé pour nettoyer les rainures par la chambre de travail, avant d'y couler le béton.

A part ses dimensions exceptionnelles et les dispositions spéciales que l'on vient d'indiquer, le caisson ne différait pas sensiblement, dans son mode de construction, de ceux qui ont été employés dans d'autres travaux, et il n'y a pas lieu d'y insister davantage. Les dessins indiquent d'ailleurs les détails de cette construction.

Exécution. — Travaux préparatoires. — Le caisson a été monté en juin et en juillet 1867, dans un des bassins de radoub du port de Brest. Il pesait 170 tonnes une fois terminé.

Avant de l'amener en place, on a vérifié, à diverses reprises, son étanchéité, en faisant rentrer l'eau dans le bassin, et on a maté les parties reconnues défectueuses. Puis, après l'avoir lesté d'une certaine quantité de maçonnerie qui portait son poids à 240 tonnes, on l'a fait sortir du bassin le 16 août, et on l'a conduit, comme un véritable bateau, à l'emplacement qu'il devait occuper. Il y a été échoué à mer descendante. Mais à l'échouage, comme il ne portait que par ses deux extrémités, il se produisit, du côté où la tranche reposait sur la maçonnerie fondée par épuisements, un mouvement brusque causé par le déplacement de quelques moellons. La tranche se rompit et le caisson dut être ramené au bassin pour y être réparé.

Pendant cette réparation, on remblaya et on dressa parfaitement le terrain sur lequel devait se faire l'échouage, de manière que le caisson portât sur le sol par tout son pourtour.

Le 1er septembre, il fut ramené en place et échoué, avec un plein succès, dans la position exacte qui lui était assignée. Un système de palans, frappés aux quatre angles, avait permis de le maintenir entre ses repères jusqu'au moment de l'échouage, qui s'opéra naturellement par l'effet du reflux. Afin que le caisson ne pût plus se relever, on ouvrit immédiatement des trous qui avaient été pratiqués dans les parois, et qui devaient permettre à la mer d'entrer librement au-dessus du plafond de la chambre de travail.

La première quinzaine de septembre fut presque entière-

ment consacrée au montage des sas à air et de leur tuyautage, à l'installation d'un pont de service sur le caisson et aux autres travaux préparatoires.

Le pont de service était nécessaire pour faciliter l'approche des matériaux destinés aux maçonneries, et l'enlèvement des déblais extraits de la chambre de travail. Il fut établi d'abord au niveau du rebord supérieur du caisson; mais il dut être relevé deux fois pendant le fonçage.

Vers le 15 septembre on commença le fonçage; mais, au début, les oscillations de la marée gênèrent considérablement le travail. Le caisson avait été échoué à $1^{m},50$ environ au-dessus du zéro de l'échelle [1], et sa tranche venait à sec à marée basse; à ce moment, l'emploi de l'air comprimé était inutile, et les ouvriers pouvaient travailler dans l'intérieur du caisson comme à l'air libre. Au fur et à mesure que la mer montait, la mise en marche des machines soufflantes permettait de maintenir le terrain à sec dans la chambre de travail; mais, comme le caisson, avec sa surcharge de maçonnerie, ne présentait pas encore un poids équivalent au déplacement de cette chambre, on ne pouvait comprimer l'air et, par suite, continuer de travailler que jusqu'au moment où la mer atteignait un certain niveau, sous peine de risquer de soulever le caisson. C'est même ce qui est arrivé à une marée de nuit, par suite d'un défaut d'attention; mais il n'en est rien résulté de fâcheux, et le caisson, dont le mouvement avait d'ailleurs été très-faible, s'est retrouvé sans avaries dans la position exacte qu'il occupait précédemment.

[1] Le zéro de l'échelle de Brest se trouve à 50 centimètres environ au-dessous du niveau des plus basses mers.

On aurait pu remédier rapidement à cet état de choses en pressant l'exécution des maçonneries; mais on hésitait à le faire avant que le caisson eût bien pris son assiette et que les frottements latéraux fussent venus atténuer un peu la charge de la tranche.

Les premiers travaux à l'air comprimé se sont donc, par le fait, exécutés à la marée, jusqu'au moment où le caisson a été suffisamment chargé pour qu'il fût possible d'injecter l'air et de travailler d'une manière continue dans la chambre. On est arrivé à ce résultat le 30 septembre; le caisson avait alors sa tranche à 20 centimètres au-dessous du zéro et par conséquent, il était descendu de $1^{m},70$.

A partir de ce moment, le fonçage, qui s'exécutait encore presque entièrement dans la vase, a marché avec une grande rapidité. En même temps, on était obligé de pousser très-activement l'exécution des maçonneries; il importait en effet qu'au fur et à mesure de l'enfoncement du caisson ces maçonneries montassent d'une quantité suffisante pour que leur partie supérieure fût toujours découverte à mer basse.

Il est arrivé, au début, que ce résultat n'a pas pu être atteint pour les maçonneries qui s'exécutaient dans la deuxième chambre de travail. Par suite de la rapidité du fonçage d'une part et, d'autre part, à cause de l'amortissement de la marée, c'est-à-dire de la réduction de son amplitude correspondante à la morte eau, la surface supérieure de la maçonnerie se trouva un jour au-dessous du niveau de la basse mer, et il était évident qu'à moins d'interrompre complétement le fonçage elle ne découvrirait plus. On eut recours alors à un moyen d'épuisement qu'il est intéressant de signaler.

On plaça dans le caisson un tuyau de 20 centimètres de diamètre, de telle sorte qu'une de ses extrémités descendît jusqu'à la partie inférieure de la seconde chambre, tandis que l'autre débouchait à la mer au-dessus de son plafond. Deux ouvertures avaient été ménagées dans ce plafond pour livrer passage aux ouvriers et aux matériaux. Dès que la mer descendante atteignait le niveau de ces ouvertures, on les bouchait au moyen de plaques en tôle garnies de caoutchouc sur leur pourtour. Puis on mettait le compartiment ainsi clos en communication avec l'air comprimé en débouchant un trou de 5 centimètres de diamètre, pratiqué dans une des cheminées. En huit ou dix minutes l'air comprimé expulsait à la mer les 200 ou 300 mètres cubes d'eau qui remplissaient ce compartiment. On débouchait alors les ouvertures, et les ouvriers pouvaient travailler jusqu'au moment où la mer montante venait de nouveau envahir le caisson.

On est sorti très-facilement, par ce moyen, de la difficulté que nous avons signalée plus haut, et, à partir de ce moment, les travaux de fonçage et de maçonnerie ont pu marcher de front sans aucun incident nouveau.

Fonçage. — Le fonçage s'est exécuté, au début, dans un terrain vaseux, très-facile à extraire. Cette partie du travail n'a présenté aucune circonstance digne d'être signalée.

Le chantier se composait de 120 à 150 ouvriers, et était divisé en trois brigades se relayant de quatre en quatre heures et se reposant, par conséquent, huit heures entre deux reprises de travail. Trente à trente-cinq hommes étaient

occupés à la fois, tant dans la chambre de travail, pour l'extraction des déblais, que dans les sas à air pour la manœuvre des monte-charges et l'éclusage de ces déblais. Les mêmes ouvriers ont été employés pendant cinq mois dans ces conditions, et aucun d'eux n'en a souffert. Le surplus du personnel du chantier était occupé à l'extérieur, soit aux travaux de marée, soit à l'approche et à la préparation des matériaux.

Deux souffleries, établies à terre et mues par une machine de 30 chevaux, envoyaient dans la chambre de travail 400 mètres cubes d'air environ par heure.

Une locomobile, également placée à terre, faisait mouvoir, au moyen de cordes et de poulies de transmission, les trois monte-charges établis dans les cheminées.

Les déblais que l'on extrayait de la chambre de travail étaient rejetés dans des gabares qui venaient accoster le long du caisson et qui les transportaient au loin.

Le rocher fut rencontré à 50 centimètres environ au-dessous du zéro de l'échelle, c'est-à-dire alors que le caisson ne s'était encore enfoncé que de 2 mètres. A partir de ce moment, on ne tarda pas à le retrouver sur une très-grande partie du pourtour. L'extraction s'en est faite à la poudre, d'une manière courante. La partie la plus difficile de ce travail consistait à ouvrir le passage de la tranche du caisson. Pour cela, des ouvriers pratiquaient incessamment, sous cette tranche, des trous de mine que l'on chargeait au moyen de gargousses en papier huilé munies de fusées Bickford et contenant de 200 à 500 grammes de poudre. On faisait souvent partir à la fois quatre ou cinq de ces mines sans que les ouvriers en fussent incommodés, et sans qu'ils prissent

d'autre précaution que de se mettre à l'abri derrière les étais ou les armatures du caisson.

Le fonçage, dans un terrain de cette nature, présentait un danger sérieux, surtout avec la surcharge énorme de maçonnerie qu'on imposait successivement au caisson. Il était à craindre, si on l'abandonnait à lui-même dans sa descente, qu'il ne vînt se déchirer aux aspérités du rocher. Il fallait qu'il fût dirigé dans le fonçage d'une manière en quelque sorte mathématique; il fallait aussi que la surcharge provenant de la maçonnerie ne vînt pas se reporter sur la tranche, qu'elle aurait infailliblement écrasée et déchirée.

On a résolu, de la manière la plus satisfaisante, ce double problème, en soutenant le caisson dans l'intérieur de la chambre de travail, par des étais qui reposaient à leur partie inférieure sur le rocher, et qui étaient serrés à leur partie supérieure contre le plafond, au moyen de coins et de semelles en bois. Le nombre de ces étais avait été porté à trente environ dans la seconde moitié du fonçage, alors que l'on tenait le rocher aux deux extrémités du caisson. Leur inspection faisait voir très-facilement quels étaient ceux qui serraient le plus; on voyait en effet les semelles de bois et les coins se réduire, par écrasement, à la moitié et même au tiers de leur épaisseur. On faisait alors tomber successivement ces étais après en avoir placé d'autres à côté. Le poids du caisson se reportait ainsi successivement des étais les plus chargés sur ceux qui l'étaient un peu moins, et le mouvement de descente pouvait être réglé de la façon la plus parfaite.

C'est ainsi qu'on est arrivé, sans accident, à descendre le caisson jusqu'à la cote $7^{m},50$ au-dessous de zéro.

Pendant cette descente, de nombreuses pièces de bois de très-fortes dimensions se sont rencontrées sous la tranche; on les coupait avec de grands ciseaux et on les débitait en morceaux de dimensions convenables pour pouvoir passer par les sas à air.

Il convient de signaler aussi, à propos de fonçage, un phénomène qui n'est point nouveau dans les travaux à l'air comprimé, mais qui a été, tout d'abord, une cause de gêne assez grande pour l'exécution des travaux et dont on a pu atténuer sensiblement les effets. Ce phénomène est celui des échappements d'air et des variations de niveau d'eau qui en résultaient dans la chambre de travail. L'évacuation de l'excès d'air envoyé par les machines soufflantes ne s'y faisait pas en effet d'une manière continue, mais par bouillonnements tumultueux qui se produisaient périodiquement, à peu près tous les quarts d'heure. A la suite de ces bouillonnements la pression tombait brusquement; l'eau remontait de 30 à 40 centimètres dans la chambre de travail et, en même temps, il se formait un brouillard épais, qui durait plusieurs minutes. A ce moment les ouvriers, particulièrement les mineurs qui travaillaient sous la tranche, étaient obligés d'interrompre leur travail et il en résultait une perte de temps assez considérable.

On a remédié, en grande partie, à cet inconvénient, en établissant dans une des cheminées un tuyau muni d'un robinet et débouchant à l'air libre au-dessus du niveau de la mer. Quand le niveau de l'eau refoulée par l'air comprimé dans la chambre de travail allait atteindre le bas de la tranche, on ouvrait le robinet et on laissait tomber la pression pendant quelques instants. Cet abaissement de

pression s'opérait avec lenteur et pouvait être réglé comme on le voulait; on évitait ainsi, en grande partie, les inconvénients signalés plus haut.

Les quantités de déblais extraits pendant le fonçage sont les suivantes :

Vases et pierrailles	1,220 mètres cubes.
Rochers	790 mètres cubes.
Fers et fontes (extraits sous la tranche du caisson)	1,750 kilogrammes.
Bois de toute sorte	103 mètres cubes.

Maçonneries. — Les maçonneries situées au-dessus de la chambre de travail ont été exécutées à la marée. Le mortier qu'on y a employé était composé de 1 mètre cube de sable pour $0^{mc},55$ de chaux hydraulique, et de 100 kilogrammes de ciment de Portland.

Le remplissage de la chambre de travail a été effectué de la manière suivante :

On a tout d'abord nettoyé avec soin la surface du rocher sur lequel on devait établir les maçonneries. Puis on a construit un autre mur de 3 mètres d'épaisseur. L'intervalle entre ces deux murs a été rempli avec du béton. Le mortier employé dans cette partie de la construction était composé de 1 mètre de sable pour $0^{mc},450$ de chaux hydraulique, et de 200 kilogrammes de ciment de Portland. Le béton était composé de trois parties de cailloux pour deux de mortier.

Les moellons dont on a eu besoin pour ce travail étaient éclusés par les sas à air et descendus par des bennes au moyen de monte-charges.

Le mortier et le béton étaient versés dans la chambre

par une bétonnière, placée au haut de la cheminée, et remplissant pour ces matériaux l'office de sas.

L'exécution de la partie du batardeau située au-dessus du bord supérieur du caisson ne pouvait présenter aucune difficulté, une fois la partie inférieure fondée. Elle s'est exécutée aussi à la marée, et pour éviter les dénivellations qui se seraient produites sans cela entre les deux côtés du mur, on avait placé dans celui-ci, un peu au-dessus du niveau des plus basses mers, deux fortes buses en tôle de 60 centimètres de diamètre, qui permettaient à la marée de se niveler des deux côtés. Ces buses ont été bouchées au moyen de plaques en tôle quand le batardeau a été terminé et qu'on a commencé à épuiser l'emplacement du bassin.

Soudures du caisson avec les rives. — Cette opération a présenté plus de difficultés qu'on ne l'avait prévu et n'a même pas donné, tout d'abord, un résultat complétement satisfaisant.

On avait pensé qu'une fois le fonçage terminé, il suffirait d'ouvrir les regards ménagés au bas des rainures et communiquant avec la chambre de travail pour effectuer, au moyen de dégagements d'air comprimé, le nettoyage à peu près complet de ces rainures. Les parties vaseuses devaient se trouver ainsi expulsées et l'on pensait que les moellons, pierrailles et autres matériaux pourraient s'extraire facilement par la chambre de travail. Or il s'est trouvé que, pendant le fonçage, les rainures s'étaient complétement remplies non-seulement de menus matériaux faciles à extraire, mais encore de gros blocs de fondation qui se

trouvaient dans le terrain avoisinant et que les bouillonnements de l'air comprimé avaient fait ébouler contre les parois du caisson.

Il était impossible de retirer ces matériaux par les regards pratiqués dans la chambre de travail. On dut alors recourir au scaphandre et, malgré la difficulté que présentait un pareil travail dans un espace aussi restreint, on réussit à élinguer et à enlever tous les blocs qui se trouvaient dans les rainures.

On procéda ensuite au remplissage de ces rainures au moyen des procédés usités pour couler du béton sous l'eau. Il aurait été prudent d'arrêter pendant cette opération le jeu des machines soufflantes, les bouillonnements qu'elles entretenaient autour du caisson pouvant avoir pour résultat de délaver les mortiers. Pressé par le temps, on n'a pas cru devoir le faire, et l'on s'est borné à veiller avec plus de soin pour éviter les bouillonnements tumultueux ou, tout au moins, pour les déterminer en des points éloignés de ceux où l'on immergeait du béton.

On a parfaitement réussi pour l'extrémité nord du caisson. Mais, à l'extrémité sud, alors que les rainures étaient déjà à moitié remplies, il s'est produit pendant une nuit, au droit de ces rainures, un bouillonnement considérable qui a fortement délavé les bétons. Il en est résulté que l'étanchéité de l'ouvrage, de ce côté, s'est trouvée très-imparfaite et qu'il a fallu l'assurer, après coup, d'une manière plus complète lorsque le batardeau a été terminé et l'emplacement du bassin mis à sec. Ce travail n'a, du reste, présenté aucune difficulté; il a suffi de dégager l'extrémité du caisson pour découvrir entre sa paroi et celle du rocher

la voie d'eau qui s'était fait jour; on l'a emprisonnée dans un tuyau de fonte autour duquel on a pu faire alors une bonne maçonnerie de ciment; quand on a jugé cette maçonnerie suffisamment solide, on a bouché le tuyau au moyen d'une plaque de tôle. Avant cette réparation, le batardeau laissait passer, suivant l'heure de la marée, de 500 à 600 mètres cubes d'eau par heure; après son exécution, le débit des filtrations est tombé à 10 mètres cubes.

La tolérance accordée par le marché à l'entrepreneur était de 180 mètres cubes. On voit, par ces chiffres, combien a été complet le succès du système adopté pour ce travail.

Démolition du batardeau. — Le batardeau a été terminé et livré dans les premiers jours d'avril 1868. En avril 1869, les travaux du bassin étant eux-mêmes achevés, on put s'occuper de le démolir.

Pour cela, avant de laisser rentrer l'eau dans le bassin et à la faveur des épuisements que l'on continuait à y faire, on a commencé par détacher, aussi complétement que possible, la partie du caisson qui devait être enlevée, des maçonneries auxquelles elle adhérait. Ce résultat a été obtenu en ouvrant, aux deux extrémités de cette partie du caisson, deux petites galeries que l'on a poussées, sans qu'il en résultât de filtrations excessives, jusqu'à 50 centimètres environ du parement extérieur.

Puis on a laissé rentrer l'eau dans le bassin. On a démoli à la marée montante les maçonneries situées au-dessus du caisson.

Celles qui se trouvaient dans le compartiment à air libre

l'ont été aussi à la marée, mais avec l'aide de pompes d'épuisement.

La démolition des maçonneries de la seconde chambre de travail a été aussi commencée à l'air libre. On y a ouvert une galerie longitudinale avant de replacer les sas à air sur les cheminées. Puis on a replacé ces sas et on a continué à l'air comprimé. On a aussi enlevé toute la maçonnerie que l'on voulait faire disparaître. Enfin, le caisson se trouvant soulagé d'un poids suffisant, on a enlevé tous les boulons qui le retenaient et on l'a fait flotter en épuisant dans le compartiment supérieur.

Cette opération a été exécutée le 26 juin 1869, avec un plein succès.

Durée des travaux. — Les diverses phases de l'entreprise et la marche des travaux sont indiquées dans le tableau suivant :

MARCHE DES TRAVAUX.	DATES.	PROFONDEUR DU FONÇAGE.
Signature du marché et approbation.....	12 février 1867.	
Arrivée à Brest des tôles préparées à l'usine.	1er juin.	
Montage complet du caisson.....	15 août.	
Échouage définitif du caisson.....	1er septembre.	
Commencement du fonçage.....	12 septembre.	
Profondeur du fonçage.....	1er octobre.	1m,70
	1er novembre.	4 ,10
	1er décembre.	5 ,70
	1er janvier 1868.	7 ,10
	1er février.	8 ,70
Achèvement du fonçage.....	5 février.	9 ,00
Achèvement complet du batardeau.....	27 mars.	
Commencement de la démolition.....	Avril 1869.	
Enlèvement du caisson.....	26 juin.	

En somme, la construction du batardeau, depuis l'échouage du caisson (1er septembre 1867), jusqu'à l'achèvement complet de l'ouvrage (27 mars 1868), a duré sept mois. La démolition a duré environ deux mois et demi.

Circonstances spéciales à l'exécution du batardeau. — Le batardeau du bassin de Brest mérite de fixer l'attention comme une application nouvelle du système de construction à air comprimé.

Ce système en effet n'avait guère été appliqué jusqu'alors qu'à des fondations de piles isolées dans des lits de rivières. La nécessité de raccorder le caisson avec ses abords, de manière à former un tout étanche, ainsi que l'obligation de démolir l'ouvrage et de relever l'appareil, introduisaient, dans le problème à résoudre, deux conditions nouvelles. On a vu comment il y a été satisfait; il est inutile de rien ajouter à ce qui a été dit plus haut à cet égard.

Il n'est pas nécessaire non plus d'insister sur les difficultés résultant du mouvement de la marée, bien que ces difficultés aient été signalées comme très-sérieuses dans certains travaux de ce genre, et notamment dans la fondation des piles du viaduc du Scorff, près de Lorient. On a vu que, dans le cas actuel, on avait pris nettement le parti d'ouvrir des trous dans la paroi verticale du caisson, et de laisser la mer circuler librement au-dessus du plafond de la chambre de travail. On s'affranchissait ainsi de la majeure partie des variations de déplacement, c'est-à-dire de poids, qu'aurait subies le caisson si l'on avait prétendu le conserver étanche, variations, qui, à raison de ses dimensions

exceptionnelles, se seraient traduites par des chiffres très-élevés.

Mais il y a lieu d'appeler plus particulièrement l'attention sur le procédé qui a été employé pour le fonçage. Il est permis de douter que, sans l'emploi des étais, on eût pu mener à bonne fin un travail aussi considérable dans le rocher. On le comprendra facilement quand on saura qu'à la fin du fonçage, le caisson avec sa surcharge de maçonnerie atteignait le poids énorme de 4 millions de kilogrammes.

Dépense. — Les travaux de construction et de démolition du batardeau ont été exécutés à forfait au prix de 376,000 francs.

Une somme de 4,640 francs a, de plus, été payée à l'entrepreneur, conformément à une des conditions du marché, pour l'extraction des bois, fers et autres matériaux, étrangers au terrain naturel, qui se sont rencontrés sous la tranche du caisson et qu'il a fallu couper pour lui livrer passage.

L'exécution de ce travail a été dirigée par MM. Dehargne, ingénieur en chef, directeur des travaux hydrauliques, et Rousseau, ingénieur ordinaire, aidés de M. le conducteur Blanchard. Les entrepreneurs étaient MM. Castor et Hersent, représentés par M. Langlois, qui a conduit l'opération jusqu'à la fin, avec un plein succès. Le caisson a été construit dans les ateliers de Fives-Lille de l'usine Cail et Cie.

XVII.

BASSIN À FLOT DU PORT DE BORDEAUX.

Dessins à des échelles variant de $0^m,0005$ à $0^m,02$.

Exposé préliminaire. — La ville de Bordeaux est le centre commercial du sud-ouest de la France. Placée au bord d'un grand fleuve, qui subit l'action périodique des marées, au milieu d'un pays riche en productions vinicoles dont la réputation est universelle, desservie par de nombreuses voies de communication, elle a vu grandir de jour en jour sa prospérité, et le port, qui en était le principal instrument, est devenu insuffisant.

Formé par la partie du cours de la Garonne, qui s'étend devant la ville sur une longueur de 7 kilomètres, le port de Bordeaux est divisé par le pont de pierre en deux parties inégales; celle d'aval, seule accessible aux navires, a cinq kilomètres de longueur et constitue le port maritime proprement dit.

La nappe d'eau qui, à moitié marée, baigne les rives du port maritime, a une largeur moyenne de 460 mètres et une surface de 230 hectares. On se tromperait cependant si l'on estimait par les dimensions apparentes de cette rade le nombre des navires qu'elle peut contenir. Les bancs de sable, qui en occupent le fond, réduisent à $58^h,83$ la surface sur laquelle peuvent mouiller les navires d'une calaison supérieure à 4 mètres, et à $15^h,09$, celle où peuvent mouiller

les navires d'une calaison supérieure à 6 mètres (sondage général de 1872).

En définitive, le port de Bordeaux ne peut recevoir que deux cents navires environ, mouillés en rade; et soixante environ, accostés aux quais ou amarrés le long des rives.

Deux quais verticaux, présentant ensemble un développement de 1,010 mètres, et des cales inclinées, formant une longueur totale de 3,000 mètres, constituent, avec quelques appontements, les installations établies pour faciliter les communications de ces navires avec la terre.

Malheureusement la surface utile de la rade de Bordeaux paraît suivre une loi de réduction continue.

Ainsi, l'étendue du mouillage de 4 mètres, qui était, en 1872, de $58^{h},83$, s'élevait:

En 1867, à $68^{h},75$,
En 1857, à 74 ,51,
En 1847, à 81 ,61.

Et la fosse de 6 mètres, comprise dans ce mouillage, qui était, en 1872, de $15^{h},09$, comptait:

En 1867, $19^{h},39$,
En 1857, 25 ,60,
En 1847, 31 ,74.

Pendant que la capacité du port éprouvait ces diminutions, l'affluence des navires qui le fréquentent augmentait dans des proportions extraordinaires.

Le tonnage de la navigation maritime, qui était, en 1857, de 747,220 tonnes, comprenant 99,512 tonnes pour les bateaux à vapeur, montait, en 1867, à 967,978 tonnes,

embrassant 437,508 tonnes pour les bateaux à vapeur. Il a même atteint, en 1872, 1,310,781 tonnes, comprenant 621,995 tonnes pour les bateaux à vapeur.

A mesure que ces faits se sont produits, l'Administration a multiplié ses efforts pour maintenir le port de Bordeaux en état de satisfaire aux besoins qui se manifestaient. Elle a développé l'étendue des quais verticaux et des cales inclinées, élargi les terre-pleins, dragué la rade; mais l'emploi de ces moyens a été inefficace, et le commerce a fini par éprouver une grande gêne. Le port s'est trouvé plusieurs fois encombré au point que de nombreux navires n'y pouvaient pénétrer, et étaient obligés d'attendre, dans les passes de la Garonne ou de la Gironde, le départ de ceux qui les avaient précédés. L'embarras le plus sensible de la situation est celui, que subit la navigation à vapeur, de ne pouvoir, faute de moyens d'accostage, faire ses chargements et déchargements avec la célérité nécessaire.

La première pensée de remédier à cet état de choses par l'établissement de docks est émanée de l'industrie privée. Plusieurs demandes de concession ont été adressées dans ce but à l'Administration, de 1840 à 1858. Ces demandes ont été repoussées, parce qu'elles étaient accompagnées de projets défectueux, et qu'elles tendaient à imposer au commerce des obligations onéreuses. Toutefois les discussions auxquelles elles ont donné lieu ont servi à faire ressortir la nécessité d'agrandir le port de Bordeaux par la construction d'un bassin à flot.

La Chambre de commerce de Bordeaux, reconnaissant l'urgence de cette amélioration, offrit, en 1866, son concours à l'État pour en assurer la prompte réalisation. L'Ad-

ministration fit alors dresser le projet des travaux, qui fut soumis aux enquêtes dans les premiers mois de 1867. L'établissement projeté fut enfin déclaré d'utilité publique par un décret du 27 juillet 1867, qui affecta à son exécution un crédit de 12,500,000 francs.

Une loi du 20 mai 1868 a autorisé la Chambre de commerce à contracter un emprunt de 10 millions de francs, dont le produit, avancé au Trésor par versements successifs, est destiné à imprimer aux travaux une marche aussi rapide que possible. Un service spécial organisé à cet effet a immédiatement procédé à l'étude et à la rédaction des projets définitifs et à l'acquisition des terrains. Les travaux ont été adjugés à la fin de 1868 et commencés en mai 1869. La guerre qui a éclaté l'année suivante les ayant considérablement retardés, ils sont encore en cours d'exécution.

Description des ouvrages. — Le bassin à flot de Bordeaux est situé sur la rive gauche de la Garonne, dans le quartier de Bacalan, entre le magasin aux vivres de la marine et la manufacture de porcelaines, à 2,500 mètres de distance de la Bourse. Il s'étend, dans une direction à peu près perpendiculaire au fleuve, jusqu'à 750 mètres de la façade du quai de Bacalan, et doit occuper, avec ses dépendances, une superficie de 52 hectares.

Dispositions générales. — Les dispositions projetées comprennent :

1° Un chenal et deux écluses juxtaposées pour la communication avec la Garonne;

2° Le bassin à flot proprement dit, entouré de quais et

de terre-pleins pour le chargement, le déchargement et le dépôt des marchandises :

3° Un réservoir destiné à emmagasiner un approvisionnement d'eau pour le service de l'alimentation.

Ces ouvrages seront rattachés, par de larges voies charretières et par des lignes de rails, aux rues de la ville, aux quais du port et aux gares des chemins de fer du Midi, d'Orléans et du Médoc.

Niveau de comparaison. — Le niveau de comparaison adopté pour l'établissement des travaux publics dans le département de la Gironde est celui de l'étiage de la Garonne, au port de Bordeaux, lequel est déterminé par le zéro de l'échelle placée à la deuxième pile de rive droite du pont de pierre.

Les cotes ci-dessous sont affectées du signe + ou du signe —, selon que l'altitude correspondante est mesurée au-dessus ou au-dessous de l'étiage.

Cotes des marées.

Plus haute mer connue	+ 6.45
Haute mer moyenne de vive eau	+ 5.13
Haute mer moyenne de morte eau	+ 3.92
Plus basse pleine mer connue	+ 3.19
Mer moyenne	+ 2.79
Basse mer moyenne de vive eau	+ 0.97
Basse mer moyenne de morte eau	+ 0.89
Plus basse mer connue	— 0.11

COTES DES PRINCIPAUX OUVRAGES.

Busc des écluses		— 3.00
Plafond du bassin	aux abords des écluses	— 3.00
	en amont	— 2.00
Fond de la fouille de fondation du radier des écluses		— 6.50
Banc de sable sur lequel reposeront les fondations	des écluses	— 6.30
	du mur du quai du bassin	— 5.94
Couronnement du bajoyer des écluses et du mur de quai du bassin		+ 7.00
Milieu du tablier des ponts tournants		+ 7.77

CHENAL. — Le chenal d'entrée en rivière aura une largeur de 80 mètres contre les murs en retour de la tête aval des écluses. Il sera bordé de cales inclinées au cinquième, évasées en courbes pour se raccorder avec les abords curvilignes du port. La longueur du chenal, entre la tête des écluses et la rive de la Garonne, n'est que de 28 mètres, de sorte que les navires ne s'y trouveraient pas à l'abri des courants à leur entrée ou à leur sortie du bassin. Des estacades en charpente, à claire-voie, seront disposées en éventail, en prolongement des deux côtés du chenal, pour obvier à cet inconvénient.

Des sondages exécutés périodiquement devant l'entrée du bassin ont permis de constater que, depuis trois ans, le fond du lit de la Garonne s'y maintient à la cote — 3 mètres. Le chenal sera entretenu par des dragages à cette profondeur, qui est suffisante pour assurer le passage d'un navire de 6 mètres de calaison par les plus faibles marées.

Écluses. — Les dimensions des écluses ont été réglées, en tenant compte des progrès récents et probables des constructions navales.

L'une d'elles aura 22 mètres de largeur et 152 mètres entre les portes; elle sera affectée aux paquebots à roues. L'autre n'aura que 14 mètres de largeur et 136 mètres entre ses portes extrêmes; cette longueur sera divisée, par une paire de portes intermédiaires, en deux sas, l'un de 60 mètres, l'autre de 76 mètres, afin de pouvoir réduire au minimum la consommation des éclusées. La petite écluse sera presque toujours utilisée, car les bateaux à roues tendent à être remplacés par des bateaux à hélice, et il n'est pas à présumer que la largeur des plus grands bateaux à hélice, qui pourront jamais remonter la Garonne, atteigne 14 mètres.

Les deux écluses seront séparées par un bajoyer intermédiaire de 10 mètres d'épaisseur et $210^{m},92$ de longueur.

Dans les maçonneries de ce bajoyer et des bajoyers latéraux, seront logés des aqueducs munis de vannes pour le remplissage et la vidange des écluses.

De chaque côté des écluses régneront des francs-bords de 25 mètres de largeur, bordés de trottoirs.

La surface supérieure des radiers sera disposée en voûte renversée, de manière à arc-bouter le pied des bajoyers et à offrir plus de résistance à la sous-pression des eaux. Le sommet de cette voûte est placé sur l'axe de l'écluse à la cote — 3 mètres; et les naissances partent des bajoyers à la cote zéro. Le fond des chambres des portes est dressé horizontalement à la cote — $3^{m},50$, ce qui donne aux buses une épaisseur de 50 centimètres sur l'axe et $3^{m},50$ contre les bajoyers.

Ponts tournants. — Deux ponts tournants seront établis sur les écluses, un à chaque extrémité, de manière à ce que l'un puisse toujours être fermé et livrer passage, quand l'autre sera ouvert. La circulation ne pourra ainsi jamais être interceptée sur les quais du port, par le passage des navires.

Bassin à flot. — Le bassin à flot proprement dit présentera une surface d'eau d'environ 10 hectares. Il aura 120 mètres de largeur normale et une longueur de $592^{m},29$ comptée sur l'axe. A son extrémité ouest, il fera retour en forme de T sur 90 mètres à droite et 115 mètres à gauche, avec la largeur de 120 mètres. Aux abords des écluses, du côté gauche, sera disposée, en reculement de 40 mètres, une darse de 140 mètres de longueur, destinée à fournir un accostage aux grands paquebots, et à faciliter les évolutions des navires.

Le fond de cette darse et de la partie correspondante du bassin sera creusé à la cote — 3 mètres : le reste du plafond doit être creusé à la cote — 2 mètres. Le niveau normal de l'eau dans le bassin devant être maintenu à la cote + $4^{m},50$, on aura, dans la darse et dans la partie correspondante du bassin, une profondeur de $7^{m},50$; et dans le reste du bassin une profondeur de $6^{m},50$. Ces tirants d'eau pourront être portés à 9 et 10 mètres par l'introduction des grandes marées.

Le bassin pourra contenir 76 navires.

Son périmètre sera entièrement bordé d'un mur de quai et aura un développement de 1,811 mètres.

Mur de quai. — Le mur de quai, dont le couronnement sera établi à la cote + 7 mètres, aura une hauteur de 9 ou 10 mètres selon la cote de la partie correspondante du plafond, et une épaisseur moyenne égale au $\frac{40}{110}$ de sa hauteur. Son profil présente, du côté du bassin, la forme d'une courbe parabolique concave, dont les éléments inférieurs ont une inclinaison assez prononcée pour embrasser le gabarit d'une carène de navire; les éléments supérieurs se raccordent tangentiellement au fruit de $\frac{1}{20}$ suivant lequel est dressé le sommet du mur. Ce tracé a pour effet de reporter le centre de gravité du mur en arrière, de manière à augmenter la résistance de la construction à la poussée des terres. Des contre-forts espacés de 50 en 50 mètres seront établis de manière à subdiviser l'action de cette poussée.

Quais et terre-pleins. — Un quai de chargement et de déchargement, de 18 mètres de largeur, régnera sur tout le pourtour du bassin. En arrière, s'étendront les emplacements affectés aux dépôts de marchandises, lesquels seront desservis par une ceinture de voies de communication de 20 mètres de largeur, qui les rattacheront au port, à la ville et aux gares de chemins de fer.

L'ensemble des terrains destinés à recevoir les dépôts de marchandises présente une surface de 12 hectares 50 ares, dans laquelle est compris un emplacement de 5 hect. 50 ares de superficie réservé, aux termes de la loi du 20 mai 1868, à la Chambre de commerce de Bordeaux, qui est autorisée à y établir des magasins-docks. Cet emplacement est situé sur la rive sud du bassin, du côté de la ville.

Réservoir d'alimentation. — Ce réservoir, entouré de digues utilisées comme voies publiques, s'étend à l'ouest du bassin jusqu'au boulevard de ceinture de la ville. Il présente la forme d'un trapèze rectangulaire de $462^{m},25$ de hauteur sur $356^{m},95$ de base moyenne; sa surface est de 16 hectares 50 ares, et le sol naturel lui servira de plafond. Il sera mis en communication avec le bassin par un aqueduc passant sous le quai et le terre-plein ouest.

Le bassin sera alimenté par les eaux de la Garonne, qui s'y introduiront directement, lorsque le niveau de la marée dépassera celui de la retenue dans le bassin. L'approvisionnement accumulé dans le réservoir servira à maintenir, au moyen de pompages, le niveau du bassin à la cote minimum $+ 4^{m},50$, dans les circonstances extrêmement rares où l'alimentation extérieure sera interrompue par une longue suite de faibles marées. De nombreuses observations, sur la quantité de matières vaseuses que les eaux de la Garonne tiennent en suspension dans le port de Bordeaux, ont permis d'apprécier l'importance des dépôts qui pourront s'amasser annuellement dans le bassin par suite de l'application de ce système; et il a été reconnu qu'il sera facile de les enlever, sans grands frais, par les moyens employés avec succès à Saint-Nazaire, dans des conditions plus défavorables.

Nature du sol. — Mode d'exécution des travaux. — Le terrain qui forme l'emplacement de ces ouvrages est composé d'une vase argileuse bleuâtre, recouverte d'une mince croûte de terre végétale, et repose, à une profondeur de 12 à 14 mètres au-dessous du sol, sur un banc de sable graveleux aquifère : ce banc présente une épaisseur de 3 à

4 mètres; il s'appuie lui-même sur la mollasse, appartenant à la formation tertiaire, qui constitue le fond primitif de la vallée de la Garonne ; le sable, extrêmement comprimé par les terres qu'il supporte, offre une assiette excellente pour des massifs de fondation.

Eaux souterraines. — Lorsqu'on pratiqua les premières fouilles dans les couches supérieures de ce terrain, on le trouva entièrement imprégné d'eau, et à l'état presque fluent. Toutefois on put bientôt reconnaître que la vase, dont il est formé, est peu perméable et prend rapidement de la consistance en s'égouttant.

Des trous de sonde, dans lesquels on engagea des tubes de tôle de 25 centimètres de diamètre ouverts par les deux bouts et s'enfonçant jusqu'au milieu de l'épaisseur du banc de sable inférieur, ont été ouverts sur l'emplacement des travaux à des distances échelonnées à partir de la Garonne. L'observation de la hauteur et de la variation du niveau des eaux souterraines qui remontent dans ces sondes a révélé l'existence d'un courant s'écoulant vers la Garonne, à travers le banc de sable et exerçant sur la masse des terres qui le recouvrent une pression considérable. Ce courant subit, aux approches de la Garonne, l'influence de la marée. On voit dans les sondes les plus rapprochées des rives du fleuve le niveau s'élever avec le flot et s'abaisser avec le jusant, atteignant son maximum de hauteur après le moment de la pleine mer, et son minimum avant le moment de la basse mer. L'amplitude de ces mouvements oscillatoires diminue à mesure qu'on s'éloigne du fleuve, et devient nulle à une distance de 300 à 400 mètres.

Tel est le milieu sans consistance et saturé d'eau, dans lequel il fallait construire les écluses, creuser le bassin, élever les murs de quai.

Fondation des écluses. — Par suite de la profondeur assignée à l'établissement des buscs des écluses et de l'épaisseur à donner à leurs radiers, la maçonnerie de ces ouvrages doit entièrement reposer sur le banc de sable graveleux qui se trouve au-dessous de la vase. La difficulté consistait à ouvrir dans cette vase molle une fouille de près de 14 mètres de profondeur, au fond de laquelle on rencontrerait une première couche de sable fin, criblée de filets d'eau ascendante. Comment soutenir les talus de cette fouille, et fixer une limite aux éboulements qui viendraient l'envahir? comment prévenir les perturbations qui en résulteraient sur les terrains environnants et qui pourraient amener la ruine d'édifices considérables? Cette difficulté a été résolue, en faisant descendre par leur propre poids, à travers la vase, jusqu'au sable graveleux, les bajoyers et les murs de garde qui constituent le périmètre du massif de maçonnerie des écluses. Ce périmètre forme un rectangle de 205 mètres de longueur et de 57 mètres de largeur. Sur les côtés ont été disposés des blocs de maçonnerie d'une épaisseur uniforme de 6 mètres et de longueurs variant entre 16 et 35 mètres. Des blocs de 9 mètres d'épaisseur et de 15 mètres de longueur ont été également disposés sur la moitié aval de l'emplacement du bajoyer intermédiaire. Ces blocs sont évidés par un ou par plusieurs puits verticaux, suivant leur longueur. Ils sont construits en maçonnerie de moellons bruts hourdés avec mortier de ciment de Portland

à la base inférieure, jusqu'à 3 mètres de hauteur, et avec mortier de chaux du Theil, au-dessus. On les a établis sur le terrain naturel préalablement déblayé à une profondeur d'environ 3 mètres, à l'aplomb de la position qu'on se proposait de leur faire occuper définitivement sur le sol de fondation, et on les a séparés entre eux par un intervalle de 50 centimètres. Ils n'ont été élevés, au début, qu'à une hauteur d'environ 5 mètres, calculée de manière à ce que leur poids n'exerçât sur le terrain qu'une charge d'environ $1^{k},30$ par centimètre carré, charge voisine de la limite de la résistance de ce terrain à la pression. Dès que cette première maçonnerie a pris consistance, on procède à l'enfoncement des blocs par les moyens qui vont être décrits.

Havage des blocs. — Le travail qui consiste à faire descendre un massif de maçonnerie, en creusant au-dessous de sa base le sol sur lequel il repose, porte le nom de havage. Ce travail se subdivise en deux périodes distinctes suivant que les couches de terrain traversées sont ou non à l'abri de l'invasion des eaux souterraines.

1re période. — Sous la charge de $1^{k},30$ par centimètre carré, le terrain sur lequel le bloc est établi se boursoufle à l'intérieur et à l'extérieur du bloc, qui s'enfonce légèrement pendant le temps que la maçonnerie met à durcir. Il faut le soutenir par des étais du côté vers lequel il tend à s'incliner. Le moment d'engager l'opération étant venu, on installe sur la face supérieure du bloc les appareils destinés à remonter les terres extraites du fond des puits; ce matériel consiste en bennes de tôle de la capacité de 100 litres;

en bigues supportant les poulies de hissage; et en treuils agissant sur les cordes des poulies. Deux hommes descendent au fond de chaque puits, l'un fouille au milieu, l'autre remplit la benne, que deux autres ouvriers remontent à l'aide du treuil; un cinquième verse la terre dans une brouette au fur et à mesure qu'elle arrive, et la jette dans un wagon conduit à proximité. L'opération continue ainsi; la terre qui subit la pression du massif reflue à l'intérieur du bloc d'où elle est enlevée par la benne, et le bloc descend pour prendre sa place. Bientôt la face supérieure du bloc arrive au niveau du sol sur lequel il avait été élevé. On ajoute alors une nouvelle hauteur de maçonnerie qu'on fait enfoncer de la même manière, jusqu'à ce que l'irruption de la nappe d'eau souterraine oblige à prendre d'autres dispositions.

2e PÉRIODE. — Cette irruption a lieu lorsque le dessous du bloc n'est plus séparé que par 2 mètres environ d'épaisseur de vase du banc de gravier aquifère inférieur, ce qui arrive généralement vers la cote — 5 mètres. On installe alors à l'intérieur du puits une pompe centrifuge mue par une locomobile à vapeur placée à proximité. Cette dernière machine est en même temps utilisée à la manœuvre des treuils qui remontent les terres fouillées au fond des puits. Le bloc est ainsi conduit jusqu'au sable, où on le fait pénétrer d'une profondeur de 80 centimètres.

ACCIDENTS. — RUPTURES. — Le havage ne s'effectue pas toujours avec cette régularité. La plupart des massifs ont subi diverses inclinaisons au début malgré les étais. Le plus

souvent on les a ramenés de suite en dirigeant, à l'extérieur et au fond des puits, des fouilles sous le côté des maçonneries qui paraissait éprouver la plus grande résistance à la descente. D'autres massifs ont été appuyés du côté de l'inclinaison contre un matelas en terre, formé avec les produits du havage, et qui servait non-seulement d'étai, mais exerçait contre le bloc une pression continue et croissante capable de contribuer à son redressement. D'autres enfin, malgré des fouilles extérieures et intérieures, malgré des étais, des dépôts de terre et toutes les précautions usitées en pareils cas, sont restés inclinés, descendant ainsi jusqu'au sable. Là, grâce à des fouilles bien conduites, les massifs ont repris leur position normale, quoique les résistances latérales fussent considérables.

Ces faits trouvent leur explication dans les obstacles accidentels et les inégalités de résistance que les blocs ont rencontrés dans le milieu qu'ils avaient à traverser. Les couches supérieures du terrain renferment des débris végétaux, des souches et des troncs d'arbre quelquefois énormes, qui paraissent remonter à une époque très-ancienne. La rencontre d'un de ces obstacles par un côté du bloc détermine son renversement du côté opposé. Un des blocs a été longtemps arrêté par le fond d'un ancien puits, dont l'existence n'a été reconnue qu'au moyen de minutieux sondages, et dont la démolition, sous le bloc, a présenté de grandes difficultés.

D'un autre côté, les épuisements énergiques pratiqués pendant la deuxième période du havage ont quelquefois provoqué le déplacement de veines de sable, qui, amenées dans le bloc par les courants souterrains, envahissaient les

puits. Il en résultait des cavités sous le sol environnant, qui se lézardait bientôt, se détachait par grandes masses, et venait exercer contre le bloc une poussée persistante. Les parties inférieures des maçonneries n'ont pas toujours pu supporter cette poussée et se sont rompues dans le sens longitudinal.

Il est arrivé également à quelques blocs de grande longueur de se rompre dans le sens vertical par suite d'obstacles, qui occasionnaient une forte différence dans la vitesse de descente, au milieu et aux extrémités.

Il a été remédié à tous ces accidents; les maçonneries lézardées ont été refaites, et les blocs restaurés conduits au terrain solide. Voici quelques exemples de ces opérations, dont les détails pourront intéresser les constructeurs.

Réparation et redressement des blocs. — Du côté de la Garonne, la ligne des blocs destinée à former le mur de garde des radiers des écluses, et qui, pendant l'exécution des travaux, sert de soutenement à la chaussée provisoire du quai de Bacalan, a rencontré des obstacles de toutes sortes. Le sol de fondation est la berge même du fleuve, formée de vase molle mêlée de débris de ville, et renfermant de grands amas de galets provenant du délestage des navires. Les blocs engagés dans ces galets étaient retenus par des pressions latérales énormes, et cessaient de descendre alors même que les fouilles étaient conduites jusqu'à 2 mètres en contre-bas des maçonneries. Dans cette situation, on pouvait craindre des dislocations et des mouvements brusques, dangereux pour les hommes qui travaillaient au fond des puits. On a évité ces accidents en jetant, sous les

murs, du sable qui modérait la descente, pendant qu'on creusait au milieu des puits. Presque tous les blocs de cette ligne se sont inclinés et rompus.

Celui qui portait le n° 36 a donné lieu aux plus grandes difficultés.

Il avait 21 mètres de longueur sur 6 mètres d'épaisseur, et il était évidé par trois puits de $3^{m},80$ sur $1^{m},50$ d'ouverture, communiquant à leur partie inférieure par des ouvertures ménagées sous les murs de refend au moyen de voûtes ayant leurs naissances à 2 mètres en contre-haut de la base du bloc. Le bloc reposait donc sur le sol par un rectangle creux, dont la surface d'appui était réduite à $82^{mq},25$. Élevé d'abord à $5^{m},50$ de hauteur, son poids, à la fin de cette période de sa construction, était de 1,238,715 kilogrammes, et la charge sur le terrain de $1^{k},50$ par centimètre carré. Cette pression suffit pour provoquer un tassement du sous-sol, et le bloc s'enfonça de 20 centimètres en moyenne. Les maçonneries, n'ayant pas encore fait prise, se lézardèrent, et une rupture complète se produisit au milieu.

Malgré cet accident le havage fut commencé. Onze jours après, le bloc était descendu de 1 mètre, et toute trace de cassure avait disparu par suite du rapprochement des parties opéré par l'effort des pressions latérales. Tout à coup de nouvelles fissures se montrèrent, et les anciennes cassures prirent des proportions inquiétantes.

Le havage fut suspendu. Les maçonneries des lézardes furent reprises et les murs de refend descendus jusqu'au niveau de la base, par la suppression des voûtes de communication des puits. Le bloc fut en outre surhaussé de

2 mètres afin de constituer, par l'application de nouvelles assises de maçonnerie, un chapeau capable de résister aux efforts de dislocation. La surface d'appui fut ainsi portée à $89^{mq},45$, et la charge sur le terrain à $1^{k},80$ par centimètre carré.

On reprit le havage, mais il fallut l'abandonner cinq jours après, à cause de la reproduction des anciennes lézardes. On chercha d'abord à isoler les obstacles qui s'opposaient à la descente régulière du bloc, en le scindant en deux parties. Le partage fut opéré suivant la séparation de deux puits, et l'on forma de cette manière les blocs n°s 36 et 36bis, dont les maçonneries furent élevées à leur hauteur définitive. Quand on reprit le havage de ces blocs, malgré tous les efforts déployés pour les soutenir, ils s'inclinèrent de plus en plus, et finirent par se coucher contre le talus de la chaussée provisoire. Dans cette position, la verticale abaissée du centre de gravité passait à peine à l'intérieur de la base, et les moyens ordinaires de redressement eussent été complétement inefficaces. Il fut décidé qu'on emploierait des moyens mécaniques et qu'une première tentative serait faite au bloc 36, le plus petit des deux.

Redressement du bloc 36. — Ce bloc a $8^{m},40$ de longueur sur 6 mètres d'épaisseur et 10 mètres de hauteur. Il est évidé par un puits qui réduit son volume à 450 mètres cubes, donnant un poids de 1,000 tonnes. Il s'était incliné du côté opposé à la fouille, c'est-à-dire du côté de la Garonne, en tournant sur l'arête longitudinale postérieure de sa base. La verticale abaissée du centre de gravité pas-

sait à 45 centimètres en avant de cette arête, qui était restée sensiblement horizontale. Le dévers transversal était de $2^{m},75$ sur 6 mètres, soit de 46 centimètres par mètre.

Les appareils dont on disposait pour exercer contre le bloc des efforts de redressement consistaient dans une presse hydraulique pouvant produire une pression de 180 tonnes, et un vérin pouvant produire une pression de 100 tonnes, total : 280 tonnes. Il fallait d'abord établir, sur le massif de terres vers lequel le bloc s'était incliné, une surface d'appui capable de supporter ces efforts.

A cet effet, on commença par l'essai d'une plate-forme en bois composée de pièces de sapin de 25 centimètres d'équarrissage : cette plate-forme fut bientôt brisée, les parties des pièces sur lesquelles appuyaient les appareils s'enfonçant plus rapidement que leurs extrémités, dans le terrain qui n'était pas suffisamment tassé.

Pour obtenir plus de rigidité, une couche de 1 mètre d'épaisseur de terre fut remplacée par du sable, derrière la surface d'appui, et des poutres métalliques provenant d'un chariot sans emploi furent substituées aux pièces de bois.

Ensuite, comme le bloc tendait à glisser dans l'écluse, il fut attaché aux deux blocs voisins au moyen de câbles composés de 20 torons de fils de fer de 3 centimètres de diamètre, disposés en écheveau autour de deux croupières en fonte formant œil à leur extrémité, et ligaturés de distance en distance par un fil de fer de 2 millimètres de diamètre. Ces amarres étaient fixées à des goujons formés avec des culasses de vieux canons enfoncés de $1^{m},50$ dans les maçonneries. Ces câbles pouvaient supporter chacun un effort de 350 tonnes, et étaient placés de manière à pouvoir

guider le bloc, tout en lui permettant un mouvement de rotation.

Ces préparatifs furent complétés par le blindage de l'intérieur du puits.

En même temps que la presse et le vérin agissaient contre la face extérieure inclinée du bloc, on pratiquait avec précaution des fouilles sous la partie la plus élevée de la base, de manière à diminuer la résistance au redressement.

Cette opération s'est effectuée sans nouveaux incidents, avec beaucoup de régularité. A mesure que la face extérieure du bloc, en se relevant, s'éloignait du talus sur lequel elle s'était couchée, le vide qui se formait entre le bloc et ce talus était successivement comblé avec du sable.

Redressement du bloc 36*bis*. — Ce bloc, de 10 mètres de hauteur, 6 mètres d'épaisseur et 12 mètres de longueur, pesait 1,380 tonnes, et avait le même dévers transversal que le précédent.

On a employé à son redressement deux presses et deux leviers hydrauliques pouvant développer ensemble un effort de 750 tonnes.

On a d'abord constitué la surface d'appui au moyen d'un revêtement en maçonnerie appliqué contre les terres et contre la plate-forme métallique, qui avait servi au bloc 36; mais, après un essai infructueux, cette installation dut être modifiée. Les premières heures du jeu des presses et des leviers avaient produit un redressement de 12 centimètres environ, lorsque tout à coup le bloc glissa vers la fouille et reprit sa première inclinaison. Il avait antérieurement éprouvé un mouvement semblable, dans les premières ten-

tatives qui avaient été faites pour le redresser par les moyens ordinaires. On avait donc ici à lutter contre une difficulté qui ne s'était pas rencontrée au bloc 36, le défaut de résistance du fond contre le déplacement de l'arête de rotation.

Le moyen employé pour combattre cet inconvénient a consisté à appliquer, en saillie contre la face antérieure du bloc, un contre-poids agissant de manière à reporter le centre de gravité de la masse à relever plus en avant de l'arête de rotation, et à exercer contre cette arête une pression en sens inverse de sa tendance au glissement. A cet effet, deux poutres en tôle à double T, de 63 centimètres de hauteur sur 25 centimètres de largeur et $6^{m},60$ de longueur, furent encastrées de $1^{m},20$ dans les maçonneries inférieures du bloc. Leurs extrémités libres étaient supportées par des haubans formés de câbles en fil de fer, amarrés à des pitons scellés dans la partie supérieure du bloc. Sur ces poutres reposaient quatre poutrelles transversales également en tôle, sur lesquelles fut établi un tablier formé de rails, chargé de gueuses de fonte. L'effet de ce contre-poids était d'ajouter aux efforts de redressement le moment d'une charge supplémentaire de 92 tonnes, agissant à $6^{m},30$ en avant de l'arête de rotation.

La surface d'appui des presses fut en même temps revêtue de trois assises de dalles en granit. L'intérieur des puits fut d'ailleurs blindé comme au bloc 36.

L'opération reprise à la suite de ces dispositions a marché avec une promptitude et une régularité remarquables. Le bloc 36*bis*, après avoir été redressé, a été mis en havage, et à l'heure où ces lignes sont écrites, il est parvenu au sable.

Le prix de revient du havage, abstraction faite des dépenses nécessitées par les redressements et les réparations d'accident, s'est élevé, par mètre carré de section des blocs :

A 4 francs par mètre de hauteur d'enfoncement jusqu'à la cote — 5, où l'opération s'effectue sans épuisement,

Et à 12 fr. 55 par mètre de hauteur d'enfoncement au-dessous de la cote — 5, où l'opération a exigé des épuisements à vapeur.

Ces prix comprennent tous les frais d'installation, et l'extraction des terres jusques et y compris la charge en wagon et l'épuisement; la valeur des appareils employés n'y est pas comptée.

Remplissage des blocs. — Le havage terminé, on procède au remplissage des puits. La partie inférieure, qui est occupée par l'eau sur plusieurs mètres de hauteur, est comblée avec du béton fabriqué avec la chaux du Theil, et coulé au moyen de caisses demi-cylindriques à fond mobile. Le béton s'arrête à 3 mètres environ de la base supérieure; le remplissage est achevé avec de la maçonnerie ordinaire, dont la liaison avec l'ancienne est facilitée par des arrachements.

Quand tous les blocs seront enfoncés et que leurs puits seront remplis, ils constitueront une enceinte à l'intérieur de laquelle il restera à descendre la fouille jusqu'au banc de gravier inférieur : sur ce banc mis à découvert, on étendra une couche de béton de 4 mètres environ d'épaisseur; les blocs seront reliés entre eux en maçonnant les intervalles de 50 centimètres qui les séparent, et la construction s'achèvera dans des conditions ordinaires.

Épuisements généraux. — Outre les difficultés résultant de la nature du terrain et de la profondeur des fondations, il y avait à se préoccuper des obstacles que peuvent occasionner directement les eaux affluant au fond des fouilles. L'étude du régime de ces eaux conduit à les considérer comme le produit des filtrations, que reçoit le banc de sable inférieur au travers duquel elles s'écoulent comme dans une multitude de petites conduites forcées. L'abondance de ces eaux, et la pression en vertu de laquelle elles tendent à s'élever, semblent devoir s'expliquer principalement par la saturation des terres d'où les filtrations dégouttent sur le banc de sable. La conséquence de cette hypothèse est que, si l'on parvenait à purger les terres environnant l'enceinte des écluses de l'excès d'eau dont elles sont imprégnées, on diminuerait l'afflux et la charge du courant qui débouche dans cette enceinte par le banc de sable.

On a été amené par ces considérations à établir, au centre et à l'extrémité amont des écluses, des puits d'asséchement, dans lesquelles des pompes, mues par des machines à vapeur représentant une force totale de 35 à 40 chevaux, opèrent un épuisement continu. Ces puits sont formés avec des blocs de 9 mètres d'épaisseur et 15 mètres de longueur, descendus par havage dans le banc de sable inférieur jusqu'à la cote — 9 mètres. Leurs parois sont percées d'ouvertures où viennent aboutir les rigoles disposées sur le sol pour l'écoulement des eaux superficielles. Le niveau de l'eau, au fond de ces puits, est maintenu entre les cotes — 7 mètres et — 8 mètres.

Ces dispositions ont été appliquées dès la première année

des travaux. Au bout de cinq mois d'épuisement continu, le niveau moyen des eaux souterraines avait baissé de plus de 7 mètres dans l'enceinte des écluses, et cet effet se propageait, mais en diminuant d'intensité, jusqu'à près de 600 mètres de cette enceinte.

Aujourd'hui l'asséchement obtenu est tel, qu'on a pu descendre la fouille, dans l'enceinte des écluses, jusqu'à la cote — 4 mètres en y faisant pénétrer des voies ferrées à traction de locomotives. Les résultats réalisés permettent d'espérer qu'en continuant, et en activant au besoin les épuisements, les radiers des écluses pourront être fondés à sec.

Fondation des murs de quai. — Le bassin, devant être creusé jusqu'à 2 et 3 mètres en contre-bas de l'étiage, aura son plafond à 3 ou 4 mètres de hauteur au-dessus du banc de sable aquifère inférieur. L'épaisseur de vase argileuse interposée entre ce banc de sable et le plafond du bassin est plus que suffisante pour préserver les chantiers de toute invasion des eaux souterraines pendant la construction, et pour empêcher toute fuite des eaux que devra renfermer le bassin, quand il sera fini; toutefois cette vase n'ayant pas la consistance suffisante pour supporter le mur de quai, on a dû recourir aux moyens nécessaires pour faire reposer cet ouvrage sur le sous-sol incompressible que constitue le banc de sable inférieur.

Deux systèmes ont été adoptés.

Travées de pilotis. — Le premier système consiste à fonder le mur sur pilotis. Les pieux, espacés de $1^{m},15$ dans le sens transversal, et de $1^{m},50$ dans le sens longitudinal, sont

disposés sur cinq files longitudinales, interrompues, tous les 50 mètres, par un bloc descendu par havage et destiné à servir de contre-fort. Ils sont battus jusqu'au refus par un mouton de 1,000 kilogrammes au moyen d'une sonnette à vapeur montée sur un double chariot métallique. Leur pointe est armée d'un sabot en tôle. Ils prennent en moyenne 9 mètres de fiche, et pénètrent de 3 mètres dans le sable. Recepés à la cote — $1^{m},20$, leur tête fait, sur le fond de la fouille, une saillie de 80 centimètres qu'on noie dans un massif de maçonnerie ordinaire avec mortier de ciment de Portland. Cette maçonnerie, qui remplace la charpente de contreventement des pieux, forme en même temps le socle du mur.

Fondation sur blocs et voûtes continus. — Dès que l'expérience des havages a été suffisante pour permettre d'organiser l'exécution régulière de ce genre de travail et d'en prévoir exactement la dépense, on a été amené à essayer l'application de ce système à la fondation du mur de quai.

Dans l'essai qui est en cours d'exécution sur une longueur de 200 mètres environ, le mur est établi sur une suite de voûtes en plein cintre de 8 mètres d'ouverture, reposant sur des blocs de 5 mètres d'épaisseur enfoncés par havage.

L'emploi de ce système semble devoir procurer une économie de 200 francs environ par mètre courant de quai.

Exécution des terrassements. — Le volume des terres à enlever, pour creuser le bassin et fouiller l'enceinte de fon-

dation des écluses, est d'environ 900,000 mètres cubes : les trois quarts de cette quantité doivent être déposés en remblai autour du bassin et du réservoir, pour former les terre-pleins et voies latérales. On comprend les difficultés de cette opération dans un espace restreint, et sur un terrain qui se trouvait mouvant au commencement des travaux.

On a procédé, en ouvrant d'abord, sur l'emplacement des bajoyers des écluses et du mur de quai du bassin, des galeries, dont les pentes étaient dirigées vers les centres d'épuisement. Une première fouille, de 3 mètres de largeur et 2 mètres de profondeur, était pratiquée et recevait une voie ferrée. De chaque côté les terres étaient abattues au moyen de pinces en fer fichées dans la partie supérieure et servant comme leviers; à mesure qu'elles s'éboulaient, on les jetait dans les wagons qui les transportaient au lieu d'emploi. Quand la tranchée était ainsi suffisamment élargie, le travail se portait dans une deuxième fouille pratiquée au milieu de la première, et ainsi de suite de 2 mètres en 2 mètres jusqu'à la limite inférieure du déblai.

Cette marche a parfaitement réussi, grâce à la continuité des épuisements, qui a permis, après plusieurs mois, de substituer des locomotives aux chevaux pour la traction des trains de terrassement, en asséchant le terrain de manière à donner au fond des fouilles une consistance suffisante.

Nature et provenance des matériaux employés. — Les matériaux employés sont :

Pieux de pin gemmé pour pilotis (Landes);

Granit pour couronnements, chardonnets, buses, angles

d'enclave, provenant des carrières de Laberé, Sainte-Honorine ou Kersanton (Finistère);

Pierre de taille dure et moellons calcaires de Saint-Macaire (Gironde);

Ciment à prise lente de Portland (Angleterre);

Chaux hydraulique du Theil (Ardèche);

Chaux hydraulique de Saint-Astier (Dordogne);

Pavés en grès de Cherbourg (Manche).

Dépenses. — Le crédit de 12,500,000 francs, attribué au bassin à flot par le décret du 27 juillet 1867, est réparti de la manière suivante :

Acquisition des terrains (dépense réglée)	2,968,769f,55c
Bassin, écluses et entrée en rivière (travaux adjugés)	5,893,895 56
Portes d'écluses, ponts tournants, vantelleries, bateaux-portes, machineries (projets non encore adjugés)	1,290,000 00
Pavages (estimation sommaire).....	350,000 00
Somme à valoir, pour frais généraux, cas fortuits et travaux imprévus.....	1,997,334 89
Total pareil.....	12,500,000f,00c

Sur cette somme on a dépensé jusqu'au 31 décembre 1872 :

Acquisition de terrains.....	2,968,769f,55c
Travaux.....	3,584,452 53
Total.....	6,553,222f,08c

Les travaux du bassin, des écluses et de l'entrée en rivière, constituant une seule entreprise, sont adjugés sur série de prix. Le montant de leur estimation, 5,893,895f,56, comprend une somme à valoir de 1,491,350f,69 pour les dépenses en régie nécessitées par les opérations sujettes à trop d'imprévu pour être l'objet d'une évaluation préalable.

Situation des travaux. — Tous les blocs de fondation des écluses, sauf trois ou quatre, dont on achève le havage, sont en place, enfoncés de 60 à 80 centimètres dans le sable.

La fouille de l'enceinte des écluses atteint la cote —4 mètres dans la grande écluse, et — 2m,50 dans la petite.

Le mur de quai du bassin est élevé jusqu'au couronnement, sur 450 mètres de longueur de la rive droite, reposant sur 1,655 pilots.

Les déblais du bassin sont entamés sur trois étages de galeries superposées, suivant les deux longs côtés du bassin.

En résumé, 400,000 mètres cubes de déblais sur 900,000 prévus, et 50,000 mètres cubes de maçonnerie sur 130,000 prévus, sont exécutés.

L'avant-projet du bassin à flot de Bordeaux a été dressé par M. Joly (Henry), comme ingénieur ordinaire, sous les ordres successivement de MM. les ingénieurs en chef Droeling et Pairier, aujourd'hui inspecteurs généraux.

Les ingénieurs qui ont concouru à la rédaction des projets définitifs et à leur exécution sont :

M. Joly (Henry), ingénieur en chef;

M. de Laroche-Tolay, comme ingénieur ordinaire, jusqu'à la fin de 1868,

M. Régnauld, ingénieur ordinaire, depuis 1869.

Les conducteurs chargés de la surveillance des travaux ont été ou sont : MM. Groult, décédé en 1868; Pochet, Pardiac et Potocki.

L'entrepreneur des travaux adjugés est M. Bernard, jeune.

XVIII.

PORT DE BAYONNE.

CONSTRUCTION DE JETÉES À CLAIRE-VOIE MÉTALLIQUES.

Dessins à des échelles variant de $0^m,0004$ à $0^m,50$.

Renseignements hydrographiques. — Le port de Bayonne est formé par les eaux de l'Adour et de la Nive, qui s'y réunissent pour venir déboucher à 7 kilomètres de leur confluent, au fond du golfe de Gascogne; entre Bayonne et la mer, le fleuve a une largeur moyenne de 250 mètres. Il offre un chenal bien abrité, dans lequel on trouve, sur un fond de sable vaseux, des profondeurs d'eau de 4 à 10 mètres à basse mer. Ce serait donc un port de grande navigation si l'entrée n'en était fermée par un banc de gravier.

Cette barre demi-circulaire se relie aux pointes ou langues de sable et de gravier qui limitent l'embouchure du fleuve, et elle l'enveloppe d'une sorte d'enceinte sur laquelle la grande houle du large arrive sans obstacle et vient briser avec violence. En effet, si, sur la carte générale des sondes d'atterrage des côtes de France, on trace la ligne des fonds de 200 brasses (330 mètres), on voit que cette ligne, parallèle à la côte d'Espagne et à petite distance, s'étend jusqu'à la barre de l'Adour, dont elle n'est qu'à 15 milles de

distance, s'infléchit brusquement en ce point, remonte au nord par le travers du bassin d'Arcachon, dont elle est à 32 milles de distance, et, à partir de ce point, court bientôt au N. O., s'éloignant de la côte de France; de sorte que l'embouchure de la Gironde s'en trouve à 65 milles, celle de la Loire à 100 milles et le goulet de Brest à 80 milles. Les autres lignes, tracées par 200 et 100 mètres de profondeur, ont des positions intermédiaires entre la précédente et la direction de la côte de France; on conçoit donc que la mer, soulevée par les vents de l'ouest au N. O., dans les grandes profondeurs de l'Océan, se propage avec toute sa force, sans aucun obstacle, jusque dans le fond du golfe, tandis qu'elle n'arrive que plus ou moins amortie aux autres points de la côte occidentale de France. Les lames rejetées dans le fond du golfe brisent quelquefois par 30 mètres, souvent par 20 mètres et, en grand, par 10 mètres; les vagues, en brisant sur la plage, communiquent aux matières qui la composent un mouvement alternatif, mais oblique à la plage, qui se traduit en un transport vers le sud, les vents régnant généralement de la partie nord. Lorsque les matières charriées atteignent l'embouchure de l'Adour, elles tombent dans le chenal, d'où le jusant les chasse vers le large; le sable est emporté au loin et le gravier s'arrête au point où le courant, amorti par la rencontre des eaux de la mer, n'a plus la force nécessaire pour l'entraîner. Mais la barre, formée par l'accumulation de ces dépôts, est attaquée par les vagues qui en écrêtent le sommet et rejettent le gravier qui le compose sur l'une ou l'autre rive, suivant la direction du vent. Il existe donc un mouvement incessant de sable et de gravier qui alimente la barre aux

dépens de la plage, et celle-ci aux dépens de la barre. Les eaux de l'Adour contenues entre des jetées franchissent la barre, qu'elles attaquent et creusent dans une direction variable. Le sillon ainsi formé constitue la passe. La position et les dimensions de cette passe varient avec l'état de la mer et le volume des eaux du fleuve. Avec des eaux abondantes et la mer belle, le bourrelet de gravier qui forme la barre est poussé au large et la passe tend à se creuser; avec des eaux faibles et la mer grosse, le bourrelet est rejeté vers le fleuve et les graviers s'accumulent à son sommet. De cette lutte constante entre le fleuve et la mer résulte un état d'équilibre variable, suivant que les forces de l'un ou de l'autre prédominent. La passe varie en direction, suivant que, sous l'influence des vents et des courants qui en résultent, les graviers et les sables se portent au nord ou au sud. Le point de rencontre de la passe avec le bourrelet varie en position suivant que ce bourrelet est porté plus ou moins au large. La profondeur en ce point, qui détermine le tirant d'eau disponible, varie par les diverses causes que nous venons d'énumérer.

Renseignements historiques. — Dans les temps anciens, l'Adour débouchait sur la côte des Landes, au nord de Bayonne; vers l'année 1500, le fleuve, qui avait dévié vers le nord, laissant des dunes de sable s'accumuler entre son lit et la mer, débouchait au Vieux-Boucau, à 30 kilomètres de son embouchure actuelle. Ce fut une époque désastreuse pour le commerce de Bayonne; le fleuve, dans son long parcours entre Bayonne et la mer, réduit à une pente insuffisante, eut bientôt son lit engorgé par les sables.

Louis de Foix entreprit de lui donner son lit actuel; il barra le fleuve un peu au-dessous du Boucau; on creusa une nouvelle passe dans les sables, et, le 28 octobre 1578, le barrage se trouvant terminé, le fleuve se précipita dans son nouveau lit jusqu'à la mer, laissant une entrée pour les navires bien plus profonde que l'ancienne; mais, par suite de l'affluence des sables venant du nord, le courant et la passe ne tardèrent pas à se porter vers le sud, de manière à former une passe sinueuse, peu profonde et dangereuse, un peu au nord du cap sur lequel est établi actuellement le phare de Biarritz. En 1693, l'ingénieur de Ferry établit sur la rive sud une jetée en charpente qui ramena la passe à l'aire de vent que Louis de Foix lui avait donnée; mais, sous la pression des sables venant du nord, le fleuve reprit bientôt sa marche vers le sud, et, dès l'année 1696, la passe était devenue aussi mauvaise qu'antérieurement à l'établissement de la jetée au sud.

Divers projets furent présentés et discutés, et ce ne fut qu'après 1731, que l'ingénieur de Touros entreprit l'exécution de deux digues en maçonnerie sur les deux rives, laissant entre elles un intervalle d'environ 300 mètres. Ces digues, terminées en 1741, existent encore aujourd'hui. En 1742, la passe était creuse et bien orientée; mais, arrivées à l'extrémité des digues, les eaux s'épanouissaient et perdaient leur action sur les sables du bourrelet, qui s'était reformé un peu plus loin.

On se mit alors à construire, à partir de l'extrémité de la digue en maçonnerie, sur chaque rive, des jetées basses en pilotis enrochés formant crochet sur les alignements des digues, de manière à réduire la largeur du fleuve. Ces jetées

basses furent prolongées successivement en 1810, 1812, 1816 et 1838; elles étaient arasées au niveau des pleines mers de morte eau, qui ne s'élèvent qu'à $2^m,20$ au-dessus des plus basses mers, et formées de plusieurs rangs de pieux dont les intervalles étaient enrochés jusqu'à ce niveau.

En 1838, la jetée basse du sud avait une longueur de 540 mètres et se trouvait en saillie de 300 mètres sur celle du nord; la largeur du fleuve, à l'extrémité de la jetée basse du nord,. était de 160 mètres. Le tirant d'eau sur la barre n'avait pas été augmenté; on n'avait réussi qu'à rejeter la côte et la barre au large d'une distance à peu près équivalente à la longueur des jetées pleines exécutées. La profondeur au-dessous des plus basses mers oscillait entre $1^m,50$ et 2 mètres dans les circonstances ordinaires; mais, à la suite de coups de vents d'ouest et avec de faibles eaux de l'Adour, elle se réduisait à moins de 1 mètre, tandis que, avec de fortes eaux, elle s'élevait à 3 mètres de plus. A cette profondeur, il fallait ajouter à la pleine mer $2^m,20$ environ en morte eau et $3^m,20$ environ en vive eau ordinaire. Cependant, en prolongeant la jetée du sud au delà de celle du nord, on avait réussi à éviter ces grandes déviations vers le sud, qui rendaient l'entrée si dangereuse, et la passe ne s'éloignait que fort peu dans ses oscillations de la direction O. N. O., considérée comme la plus avantageuse par les marins.

Jetées à claire-voie. — Les études pour l'amélioration du port furent reprises en 1854, d'après les ordres de Napoléon III, qui vint à cette époque séjourner dans le voisinage de Bayonne, à Biarritz. L'ingénieur du port, M. Da-

guenet, avait signalé l'idée de jetées à claire-voie émise par M. Alan de Riveira, ancien directeur général des travaux publics du royaume de Naples, comme un moyen d'améliorer les embouchures, à la mer, des cours d'eau obstrués par les sables. Il fut envoyé en Italie pour étudier sur place les applications qui en avaient été faites. On s'était borné, jusque-là, à quelques expériences insuffisantes et incomplè es et les résultats obtenus, du moins à cette époque, n'étaient pas encore appréciables; mais l'idée des jetées à claire-voie n'en restait pas moins digne d'attention, et, sur l'avis du Conseil général des ponts et chaussées, M. le Ministre des travaux publics décida, en date du 30 décembre 1856, qu'il serait fait à l'embouchure de l'Adour un essai du système des jetées à claire-voie.

Une nouvelle décision ministérielle, du 2 juillet 1857, autorisa la construction de 200 mètres de jetée pleine et de 200 mètres de jetée à claire-voie à la suite sur la rive sud de l'embouchure de l'Adour.

La jetée pleine était destinée à raccorder, par une courbe concave, l'ancienne direction des jetées pleines avec la nouvelle direction des jetées à claire-voie, qui, sur la demande des marins, avait été un peu infléchie vers le nord. Les travaux furent commencés, et un décret du 29 mai 1858, statuant sur l'ensemble des travaux à exécuter, affecta une somme de 1,690,000 francs à l'amélioration de l'embouchure de l'Adour. Ces travaux devaient comprendre : au sud, les 200 mètres de jetée pleine et les 200 mètres de jetée à claire-voie, déjà autorisés; au nord, 666 mètres de jetée à claire-voie; les jetées basses, anciennes et nouvelles, devaient d'ailleurs être toutes surmontées d'un tillac. Ces ou-

vrages furent terminés à la fin de 1861, en y comprenant un prolongement de 100 mètres, sur chaque rive, de jetée à claire-voie, qui avait été autorisé par une décision ministérielle du 8 juin de cette dernière année. Les jetées à claire-voie consistaient en une file de pieux de 30 centimètres laissant entre eux des vides de 60 centimètres, moisés en tête et enrochés primitivement jusqu'à 4 mètres seulement en contre-bas du niveau de la plus basse mer. Plus tard, pour donner plus de stabilité aux pieux, l'enrochement fut exhaussé jusqu'à 2 mètres en contre-bas de la plus basse mer; en arrière, deux files de pieux plus espacés soutenaient la file principale.

La jetée pleine n'en diffère qu'en ce que les enrochements en blocs naturels s'élèvent jusqu'au niveau des pleines mers de morte eau, les jetées pleines et à claire-voie étant arasées à ce niveau. Les travaux, notamment le pont de service, surmontant les jetées à claire-voie et servant de tillac, avaient eu à subir chaque hiver, depuis leur achèvement, de violentes tempêtes qui avaient occasionné des avaries qu'on était parvenu à réparer. Mais, dans l'hiver de 1864-1865, une nouvelle cause de destruction se révéla dans des proportions inquiétantes. On s'aperçut que les pieux des claires-voies étaient attaqués par les vers tarets à partir du niveau de la basse mer, dans la partie inférieure. Sous cette influence, les avaries prirent de telles proportions, qu'il fallut abandonner 115 mètres de jetée à claire-voie à l'extrémité du côté sud et 132 mètres à l'extrémité du côté nord.

Jetées métalliques à claire-voie. — En 1866, M. l'ingé-

nieur Prompt, alors chargé du service du port, entreprit l'étude de la reconstruction des portions de jetées démolies, et proposa de remplacer les pieux en charpente par un système de tubes en fonte remplis de béton, dont les projets furent poursuivis avec le concours de la société Cail et Fives-Lille en participation. Quatre tubes d'essai furent foncés en 1867 à l'aide de l'air comprimé. L'opération s'était faite avec succès, et les tubes présentaient une grande stabilité. Aussi, un décret du 27 novembre 1868 a-t-il autorisé la reconstruction dans ce système des jetées à claire-voie sur 105 mètres au sud et sur 117 mètres au nord.

Le projet comprend, au sud, vingt et un tubes ou colonnes, et vingt-quatre colonnes au nord. Ces tubes sont des cylindres creux de 2 mètres de diamètre, en fonte, qu'on enfonce dans le sol, de $7^{m},30$ en contre-bas de la plus basse mer, au moyen de l'air comprimé; on a donné, vers l'extrémité de la jetée et dans la crainte des affouillements, des fiches plus grandes allant jusqu'à $11^{m},80$; les colonnes espacées d'axe en axe de 5 mètres sont remplies de béton, et surmontées d'un chapiteau en fonte portant deux nervures percées de trous, dans lesquels sont boulonnés les pieds des montants d'un tillac ou passerelle en fer. Autour des tubes et dans leur intervalle, on versera des enrochements dont le plan supérieur sera réglé suivant une pente vers le large de un centimètre par mètre, de manière que son niveau se trouve à 3 mètres en contre-bas du niveau des plus basses mers à la dernière colonne. D'un tube à l'autre règnent, à deux hauteurs différentes, deux cours de doubles moises longitudinales en fer, entre lesquelles on fera glisser à volonté des vannes en bois armées de fer. On remédiera ainsi

à l'inconvénient que l'expérience a fait reconnaître dans les jetées à claire-voie primitives, d'une trop grande proportion des vides relativement aux pleins. Les vannes laissent entre leur bord inférieur et le plan d'enrochements un vide qu'on peut régler à volonté; elles offrent entre elles un vide de 18 centimètres. En outre, il sera possible d'enlever une ou deux des trois vannes qui rempliront l'intervalle entre deux tubes, de sorte qu'on sera libre de régler, suivant les circonstances, la proportion des pleins et des vides, et l'on évitera le grave inconvénient, qui s'est produit quelquefois avec les jetées à trop grandes claires-voies en charpente, de voir les eaux de l'Adour s'échapper latéralement entre les pieux, et des sables s'accumuler entre les jetées à leur extrémité.

Les tubes sont d'ailleurs arasés, comme les anciennes claires-voies, au niveau des pleines mers de morte eau.

Ce projet est aujourd'hui en plein cours d'exécution; le côté sud est terminé, sauf les vannes, qu'on ne mettra en place qu'autant que la nécessité en sera reconnue.

Piles en enrochements avec passerelle en bois. — Dans les parties des anciennes jetées à claire-voie qui doivent être conservées en amont des jetées métalliques, sur les deux rives, on établit des piles espacées de $12^{m},50$ d'axe en axe, formées d'un massif d'enrochements qu'on recouvre d'un massif de béton descendu aussi bas que la basse mer le permet. Ces piles, qui, à la hauteur des mers moyennes, laissent autant de vides que de pleins, remplaceront d'une manière efficace les pieux des anciennes jetées, qui tendent à disparaître sous l'action des tarets et des lames; dans les

piles, on encastre des rails Barlow, qui portent le tablier d'une passerelle américaine faisant fonction de pont de service et de tillac.

Nature des matériaux. — Les enrochements employés dans les travaux de la barre proviennent des carrières d'ophite, qu'on trouve sur les bords de la Nive et sur la rive droite de l'Adour, à Sainte-Marie, ou des bancs calcaires de la rive gauche de la Bidouze; le poids minimum des pierres est de 50 kilogrammes, et le poids moyen d'environ 100 kilogrammes.

La charpente est en bois de pin des Landes; le tablier définitif de la passerelle métallique sera en bois de chêne.

Estimation des dépenses. — Les prix de revient s'établissent ainsi qu'il suit, d'après les attachements tenus en cours d'exécution :

Jetée métallique. — (*Dans cette estimation, on a tenu compte des avaries subies en cours d'exécution.*)

Une colonne bétonnée mise en place	12,000f
Pièces reliant les colonnes entre elles, pour une travée de 5 mètres	1,000
Vannes, pour une travée	300
Passerelle américaine surmontant les colonnes, pour une travée	1,770
Peinture, échelle, heurtoirs, etc., par travée	250
Enrochements, pour une travée	380
Total pour une travée de 5 mètres	15,700

Ce qui fait revenir le mètre courant de jetée à 3,140 francs.

Piles en enrochements avec passerelle américaine. — (*Les chiffres suivants n'ont pu être établis qu'approximativement.*)

Une pile en enrochements, y compris la palée mise en place	1,700f
Une travée de 12m,50 de longueur mise en place.....	900
Total.....	2,600

Ce qui fait revenir le mètre courant de jetée à 208 francs.

Chariot de fonçage. — Pour la mise en fiche et le fonçage des tubes ou colonnes, on s'est servi d'un appareil appelé chariot de fonçage, qui a été fourni par la maison Cail et Fives-Lille en participation, et dont on a produit le plan, l'élévation et la coupe.

L'élévation montre le chariot s'appuyant sur deux colonnes déjà foncées, et en position de mettre en fiche la colonne suivante : les anneaux devant former cette colonne sont successivement amenés par des wagonnets, saisis au moyen du treuil qui surmonte le chariot, et déposés provisoirement sur un plancher au-dessus de leur emplacement définitif. Sur ce plancher, on assemble un nombre suffisant d'anneaux pour que le tronçon de colonne, saisi et mis en fiche par le treuil du chariot, dépasse le niveau de basse mer. On continue ensuite d'ajouter des anneaux autant qu'il est possible sans empêcher le fonctionnement du chariot; on met en place les guides de la colonne, et on la couronne des anneaux, outils et sas à air. On met le sas en communication avec la machine à comprimer l'air, établie à l'origine du pont de service et reliée au sas par un long tuyau en fonte qui repose sur le plancher du pont, et l'opération

du fonçage commence. Sous la pression des gueuses en fonte qui lestent le sas, jusqu'à concurrence de 10,000 kilogrammes, l'anneau-couteau inférieur pénètre dans le sol d'une quantité variable, puis deux hommes descendus dans l'intérieur de la colonne fouillent au pourtour et chargent des bennes qui, remontées par d'autres hommes placés dans l'écluse à air, sont déchargées au dehors à mesure que le déblai s'opère. La colonne descend, et quand la fiche atteint la profondeur qu'on lui a fixée d'avance, on la remplit d'abord de béton en mortier de ciment à prise rapide, pour former tampon et empêcher l'introduction de l'eau; puis, avec du ciment de Portland. Si la hauteur de colonne qu'il a été possible d'assembler en premier lieu n'est pas suffisante, eu égard au peu de profondeur du sol, en contre-bas de basse-mer, on enlève le sas et on ajoute des anneaux en quantité suffisante. A cet effet, le chantier est approvisionné d'anneaux de différentes hauteurs.

Quand le fonçage est terminé avec la fiche voulue, on enlève définitivement le sas et on le remplace par l'anneau supérieur formant chapiteau. Sur ce chapiteau, on assemble les poutres en fer formant rails pour les chariots, et, au moyen de palans fixés sur les colonnes déjà foncées, on fait avancer le chariot de la longueur d'un entre-colonnement (5 mètres) pour mettre en fiche la colonne suivante.

Si l'on opérait dans le sol naturel, de sable ou de gravier, on pourrait, en trois jours, foncer une colonne à 8 mètres de fiche, la remplir de béton en deux jours, et il faudrait ensuite trois jours pour la pose du chapiteau, des poutres, et le mouvement en avant du chariot, en tout huit jours. Mais les conditions sont bien changées par la présence dans

le sol des débris de l'ancienne jetée à claire-voie en bois, dont la jetée métallique occupe l'emplacement. Non-seulement on a à traverser une couche d'enrochements d'ophite très-dur qu'il faut tailler au burin, mais l'anneau-couteau se trouve arrêté fréquemment par des rails, des boulons, d'anciens pieux qu'il faut tailler, rompre et hacher péniblement; de sorte qu'il n'a pas fallu moins de dix-huit jours, en moyenne, pour la mise en fiche de chaque colonne.

Cependant, une amélioration s'était produite à l'embouchure de l'Adour, sous l'influence des jetées à claire-voie.

Le tableau suivant donne la position et les profondeurs du sommet du bourrelet, de 1859 à 1872, comparées à celles des trois années antérieures aux travaux.

ANNÉES.	PROFONDEURS DU PORT, au-dessous de zéro (niveau de la plus basse mer).			DISTANCE MOYENNE ACTUELLE DU SOMMET du bourrelet, par rapport à l'ancienne position moyenne indiquée par l'alignement du bouton de la Rhune (montagne) par le clocher de Biarritz.
	MAXIMUM.	MOYENNE.	MINIMUM.	
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
1837	2 84	1 89	1 33	//
1838	2 09	1 69	1 21	//
1839	2 00	1 60	1 17	//
1859	3 10	2 17	1 50	58 00
1860	3 10	2 32	1 60	22 00
1861	3 00	2 58	2 30	32 00
1862	3 90	2 66	2 10	49 27
1863	3 10	2 56	2 10	63 10
1864	3 00	2 59	1 90	28 32
1865	3 30	2 58	2 10	59 00
1866	3 30	2 38	1 80	22 00
1867	3 30	2 49	1 70	26 00
1868	3 40	2 40	1 60	41 00
1869	2 80	2 45	2 00	56 00
1870	3 60	2 42	2 00	27 00
1871	2 80	2 20	1 40	28 00
1872 [1]	3 50	2 53	2 00	73 00

[1] Observations faites du 1er janvier au 1er décembre 1872.

Il résulte de ce tableau : 1° que le bourrelet, qui avait avancé de 50 mètres environ par la construction de 200 mètres de jetée pleine au sud, n'a pas continué de se porter au large avec les jetées à claire-voie; 2° que les travaux avaient augmenté la profondeur sur le bourrelet de 80 à 90 centimètres en moyenne; mais que, à partir de 1866, par suite de la destruction partielle des travaux, cette augmentation s'est en partie perdue; mais il n'est pas douteux qu'on ne regagne, et probablement au delà, la profondeur perdue par l'établissement des jetées métalliques à claire-voie en cours d'exécution. Les résultats constatés en 1872 confirment cette espérance.

Pour que l'effet des jetées soit complet, il sera d'ailleurs nécessaire de les prolonger jusqu'un peu au delà de la position moyenne du bourrelet, qui est à 100 mètres de l'extrémité de la jetée actuelle du sud, et l'on est en droit d'espérer qu'il en résultera une nouvelle augmentation dans la profondeur de la passe.

Les travaux des jetées à claire-voie ont été entrepris, en 1857, sous la direction de MM. Floucaud de Fourcroy, ingénieur en chef, et Daguenet, ingénieur ordinaire; en 1861, M. Pairier, ingénieur en chef, a remplacé M. Floucaud de Fourcroy, et a été remplacé, le 1er janvier 1865, par M. Daguenet, nommé ingénieur en chef. Les travaux ont été continués sous la direction de ce dernier et de MM. les ingénieurs ordinaires : Laprade, du 1er mai 1865 au 15 janvier 1866; Prompt, du 1er février 1866 au 15 mars 1868, et de M. l'ingénieur ordinaire Stoecklin, depuis le 16 mars 1868. La surveillance des jetées à claire-voie en charpente a été confiée à M. le conducteur principal Ulysse Palaa,

jusqu'au 1er juillet 1863, et à M. le conducteur embrigadé Dufau, jusqu'au 1er janvier 1865. La maison Cail et Fives-Lille, en participation, a pris une part active, avec M. l'ingénieur Prompt, à la préparation des projets de jetées métalliques. Elle a été chargée des fournitures et de la mise en œuvre des tubes ou colonnes jusqu'aux premiers mois de 1872; à partir de cette époque, la surveillance des travaux a été exclusivement confiée à M. le conducteur embrigadé Ramonbordes.

XIX.

PORT DE SAINT-JEAN-DE-LUZ.

DIGUE DU SOCOA ET MÔLE DE L'ARTHA.

Dessins à des échelles variant de $0^m,0002$ à $0^m,20$.

Renseignements hydrographiques. — Le port de Saint-Jean-de-Luz se compose d'une baie ou rade naturelle et de deux petits ports d'échouage : celui de Saint-Jean-de-Luz, formé par le lit de la Nivelle, et celui du Socoa, créé à l'entrée de la baie sur le côté ouest, au moyen de plusieurs digues disposées pour l'abriter des lames.

La baie forme une sorte de demi-cercle ouvert au nord 15° ouest; son ouverture, entre les pointes du Socoa (ouest) et de Sainte-Barbe (est), est de 1,500 mètres; sa largeur jusqu'à l'embouchure de la Nivelle est de 1,100 mètres.

La profondeur d'eau, en contre-bas de la plus basse mer, atteint jusqu'à 13 mètres; cette profondeur, sur plus de 70 hectares de superficie, dépasse 6 mètres. La baie est profondément agitée par les vents entre le nord et l'ouest; on travaille à l'abriter au moyen de deux digues, dont l'une, partant du Socoa, aura 346 mètres de longueur, et l'autre, isolée en mer et placée sur la roche marine l'Artha, aura 250 mètres de longueur. Ces deux digues, laissant entre

elles une passe de 235 mètres de longueur, doivent avoir pour résultat, non-seulement de faire de la baie de Saint-Jean-de-Luz un port de refuge, mais encore de garantir la ville de la destruction dont elle est menacée par l'envahissement continu de la mer. Une digue appelée seuil de garantie, dont on a donné le profil, et qui n'est que le revêtement d'un noyau de sable, la protége seule en ce moment.

Les considérations générales exposées à propos du port de Bayonne expliquent la violence de la mer sur la plage au fond de laquelle la ville est assise, plage corrodée par des attaques incessantes sous lesquelles se sont effondrés les travaux de défense que, pendant un siècle et demi, on y a successivement élevés.

Dans la rade et dans le port du Socoa la marée monte de $3^{m},30$ dans les mortes eaux et de $4^{m},30$ dans les vives eaux, au-dessus du niveau des plus basses mers. Mais, dans l'intérieur du port de Saint-Jean-de-Luz, la mer descend moins et la marée ne monte que de $3^{m},60$, aux grandes vives eaux, au-dessus de son niveau.

Le flot pénètre dans la baie en tournant les deux pointes du Socoa et de Sainte-Barbe entre lesquelles est comprise son ouverture, et forme deux courants contournant les deux côtés est et ouest de la baie, de manière à venir se rencontrer à l'embouchure de la Nivelle; mais, depuis que la digue du Socoa est construite, la branche ouest est supprimée; le courant de Sainte-Barbe, qui doit remplir la baie dans la même période de marée montante, est devenu plus important et fait le contour entier de la baie.

Il y avait, antérieurement aux travaux, trois groupes de brisants à l'entrée de la baie : les brisants de Criqua, rochers

découvrant en partie à basse mer, et situés en prolongement de la pointe du Socoa; les brisants de l'Artha, rocher sous-marin, situé à 10 mètres environ en contre-bas de la basse mer, vers le milieu de l'ouverture de la rade; les brisants de Sainte-Barbe, sur les rochers découvrant en partie à basse mer, situés en prolongement de la pointe de ce nom. Entre les brisants de Criqua, se dirigeant vers la plage de l'ouest de la baie, et les brisants de l'Artha se dirigeant vers Saint-Jean-de-Luz, il y avait un calme relatif dont on avait profité pour l'établissement des corps-morts servant de mouillage aux navires venant en relâche. La digue déjà construite a supprimé le premier groupe, et la construction du môle de l'Artha aura pour effet de supprimer les brisants qui, se dirigeant vers l'embouchure de la Nivelle, propagent l'agitation dans le chenal et dans le port.

Travaux de fermeture de la rade. — Le projet de fermeture de la rade de Saint-Jean-de-Luz fut, en 1857, l'objet d'une instruction complète; enquête publique, enquête nautique, procès-verbal de conférence avec les représentants de la guerre et de la marine dans l'intérêt de la défense. Le projet avait été à tous les points de vue favorablement accueilli. L'opinion fut unanime pour demander que la digue de l'ouest (côté du Socoa) fût d'abord exécutée; on s'occuperait ultérieurement de la digue de l'est, en commençant cette dernière au rocher de l'Artha, et en la poursuivant vers l'est autant qu'il serait nécessaire.

La construction de la digue de l'ouest fut ordonnée par un décret du 7 octobre 1863, qui autorisa une dépense de 2 millions de francs pour l'exécuter sur une longueur

de 260 mètres, et les travaux furent immédiatement entrepris.

Un décret du 25 mai 1867 autorisa le complément des travaux de fermeture de la rade. Le projet qui sert de base à ce décret, et dont le montant est de 4,500,000 francs, comprend : le prolongement de la digue du Socoa sur une longueur supplémentaire de 86 mètres, et la construction, sur 250 mètres de longueur, d'un brise-lames sur le rocher de l'Artha, la passe entre les deux digues devant avoir 235 mètres au niveau de la basse mer de vive eau d'équinoxe. Ces travaux se poursuivent; la digue du Socoa est achevée sur 285 mètres de longueur, et fondée sur 15 mètres au delà. On travaille à prolonger la fondation, et l'on s'occupe en même temps de couler des blocs artificiels et naturels pour l'établissement du môle de l'Artha.

Ordre et mode d'exécution des travaux. — La digue du Socoa a été exécutée la première afin d'abriter le mouillage naturel qui existait déjà par des fonds de 6 mètres de basse mer. Son premier effet doit être de rendre possibles, en tout état de la mer, les communications entre les bouées sur lesquelles viennent s'amarrer les navires en relâche, et le petit port d'échouage où sont remisées les chaloupes des pilotes qui viennent leur porter secours et les aider à prendre l'amarrage.

On s'est occupé en même temps de couler les blocs artificiels et naturels qui doivent constituer la fondation du môle de l'Artha, afin de briser les lames qui viennent porter l'agitation dans le port de Saint-Jean-de-Luz et qui attaquent la plage au fond de la baie; plus tard on établira sur cette

fondation la muraille projetée qui doit abriter la partie centrale de la baie, où se trouvent les plus grandes profondeurs.

On coule les blocs naturels et artificiels de manière à se rapprocher autant que possible du profil type dont les dessins sont exposés. Quand la fondation arrive ainsi au niveau des basses mers, on règle autant que possible la surface supérieure avec des blocs naturels et des moellons encastrés dans les vides des grands blocs; puis on élève au-dessus des couches successives de béton et de moellons, en profitant de la basse mer. Les moellons sont plantés de champ dans le lit de béton, de manière à amorcer la couche de béton suivante; ce mode de maçonnerie offre l'avantage de relier entre elles les maçonneries exécutées en deux marées différentes. Il permet de mener plus rapidement le massif et d'y employer, avec quelques maçons, un grand nombre de manœuvres. Mais on attend, avant d'entreprendre la maçonnerie supérieure, que la fondation ait subi l'épreuve de deux hivers, des grosses mers et des tempêtes, de manière que les blocs ayant éprouvé leur tassement aient pris leur assiette définitive.

Nature des matériaux. — Les bancs calcaires du coteau que longe la rivière l'Ounxin fournissent : les blocs naturels dont le poids maximum est fixé à 2,000 kilogrammes et le poids minimum à 500 kilogrammes; les moellons pour les parements et pour le corps de la digue, et la pierre cassée à la grosseur de $0^{m},10$ pour le béton. Le sable est extrait des dunes de la rive droite de l'Ounxin.

Le ciment employé dans les blocs factices est le Portland

d'Angleterre, on emploie, pour la maçonnerie de la muraille exécutée à la marée, du ciment à prise rapide provenant de la fabrique de M. Gurrutchaga, à Zumaya (Espagne).

On n'a pas encore employé de pierre de taille à la digue; il est probable qu'elle sera remplacée par de la maçonnerie ordinaire en moellons et mortier de ciment de Portland. Ce mode de construction offre, par son homogénéité et par l'absence de joints, plus de corps et plus de résistance contre les coups de mer. La forme concave donnée au parement du large évite les chocs et diminue la pression contre la digue en faisant glisser la lame jusqu'à rendre sa direction verticale pour la laisser retomber ensuite sur elle-même; mais il en résulte au retour une action qui tend à éloigner les blocs de la fondation du pied de la muraille, et il est possible que pour la muraille sur le môle de l'Artha on soit conduit à rendre ce parement droit avec un simple fruit.

Chemin de fer de service. — Un chemin de fer de service a été établi au pied du coteau sur l'étendue du front de la carrière; il franchit l'Ounxin sur un pont en charpente avec poutres américaines à treillis; traverse en remblai la plaine marécageuse de la rive gauche, longe le grand chantier des blocs factices, et passe entre les maisons du Socoa et le parapet qui borde le mur de quai. De là le chemin vient aboutir à l'entrée du port d'échouage, à l'aide d'un viaduc avec piles en maçonnerie et tablier en charpente sur poutres américaines à treillis; ensuite, il s'établit sur le terre-plein de l'ancienne digue du Socoa et se développe sur la digue nouvelle au fur et à mesure qu'on la prolonge, de

manière à venir porter les matériaux à son extrémité pour la construction de la muraille. Un échafaudage en charpente, reposant sur la plate-forme et le parapet de la digue, porte la voie en rails Brunel. Ce chemin de fer, dont la voie a la même largeur que celle du réseau du Midi, se prolonge au delà des carrières pour venir se raccorder au moyen d'une aiguille avec le chemin de Bayonne à Irun, entre les stations de Saint-Jean-de-Luz et Hendaye. Il établit ainsi la communication entre le petit port du Socoa, la rade et le réseau du Midi.

A la sortie de la plaine de l'Ounxin et près du pont en pierre de la route du Socoa, un embranchement se détache de la voie de fer principale pour se diriger vers la dune de sable de la rive droite de l'Ounxin, qui alimente les travaux; cet embranchement traverse l'Ounxin sur un pont de service en charpente. A l'entrée du port du Socoa, deux autres embranchements s'en détachent : l'un pour suivre la digue du sud du port d'échouage, l'autre pour aboutir au sommet de la cale ou plan incliné servant à l'embarquement des blocs factices dont nous parlerons plus loin. Ce chemin est desservi au moyen de deux locomotives de la force de 35 et 60 chevaux et de wagons plates-formes qui ont été achetés à la compagnie du Midi. Un autre embranchement traverse le chantier des bois. Un pont à bascule est établi sous le passage de la voie principale pour peser les wagons chargés de blocs naturels, de moellons et de pierrecassée, dont la fourniture est payée au poids à l'entrepreneur.

Ce chemin de fer dessert ainsi la carrière et la sablière dont il apporte les matériaux à pied-d'œuvre, soit pour la confection des blocs, soit pour l'exécution de la muraille.

L'embranchement de la digue du sud permet d'amener les wagons chargés de blocs naturels sous une grue fixe portant un treuil roulant qui les embarque dans les pontons; il permet aussi, à l'aide d'une grue à vapeur du système Chrétien, de décharger les navires portant le ciment venant de Portland et de Zumaya, et de transporter les barils et les sacs de ciment, soit dans les magasins qui longent la voie de fer dans la traverse du Socoa, soit au hangar du grand chantier.

Enfin le chemin de fer permet de faire pousser les wagons porte-blocs par les locomotives, et d'amener ainsi les blocs factices au sommet du plan incliné qui les conduit au ponton.

Chantiers. — On a d'abord construit les blocs en béton dans des caisses ou moules en bois, dans le port même d'échouage; le mortier est fabriqué sur les digues du pourtour du port, ou sur un échafaudage en charpente, avec une vis mue par une locomobile Breval. Le mortier mélangé ensuite à la pierre cassée, à l'aide de rabots et de pelles, est jeté dans un couloir en planches qui le verse dans un moule où l'on pilonne le béton; les blocs sont faits pendant la basse mer et menés de manière à être exécutés en entier dans une marée. Les pontons viennent les accrocher à la basse mer pour les immerger au plein, de manière que chaque appareil de ponton ne peut transporter qu'un bloc par marée ; ce chantier d'ailleurs ne peut contenir que quatre-vingts blocs. Pour pouvoir donner une impulsion plus active aux travaux, on a établi, à l'aide de terres de découverte provenant de la carrière, et transportées par les locomotives, un

second chantier, plus étendu, pouvant contenir cinq cents blocs en contre-haut de la marée. Le chantier est relié au port du Socoa par le prolongement de la voie de fer qui le traverse et par le plan incliné. Vers une extrémité de ce chantier, se trouve un hangar surmontant une terrasse sous laquelle est établi un magasin pour le ciment; ce bâtiment est desservi par un embranchement de la voie de fer, qui y porte le ciment, le sable et la pierre cassée pour la fabrication du béton. Le terre-plein sous le hangar est à la hauteur du dessus des moules, et permet d'amener le béton dans ces derniers au moyen de wagonnets roulant sur des voies de fer, reposant sur les blocs déjà construits.

Grues. — Une grue roulante de 6 mètres de portée, mue à la main, sert, à la carrière, à charger les blocs naturels sur les wagons; sur la digue du nord, est établie une grue du système Chrétien, mue par la vapeur, qui permet de décharger, avec une grande rapidité, les navires portant le ciment, et qui est aussi employée quelquefois à transporter les blocs naturels des wagons sur les pontons destinés à les couler. Une grue en charpente, dont on a produit les dessins, sert à soulever les blocs dans le grand chantier et à les transporter, en roulant, sur des rails Barlow, jusque sur les wagons spéciaux porte-blocs, pour être ensuite poussés par une locomotive jusqu'au sommet du plan incliné. Cette grue porte aux quatre angles quatre verrins, à l'aide desquels on soulève les blocs; ces verrins sont mus par des leviers agissant sur une lanterne qui porte des linguets dont les deux faces sont : l'une verticale, l'autre arrondie, de manière que le levier agit par un mouvement

alternatif de va-et-vient, sans que les hommes aient à sortir du dessus du bloc.

Plan incliné. — Arrivé au sommet du plan incliné, le wagon portant le bloc est descendu à l'aide de câbles enroulés sur quatre bittes de retenue, disposées au haut de la cale, deux à deux de chaque côté, jusqu'au point où la marée permet aux pontons de venir saisir le bloc, laissant libre le wagon qui est remonté à bras à l'aide des bittes. La cale a une inclinaison de 65 millimètres par mètre, sur 90 mètres de longueur, suivie d'un palier de 10 mètres de longueur. Cette manœuvre peut être faite plusieurs fois dans une marée, par les mêmes pontons.

Matériel naval. — On se sert généralement pour le coulage des blocs de deux pontons jumelés, dont on a produit les dessins, laissant entre eux un vide de 3 mètres, et reliés à l'aide de fortes poutres en charpente, auxquelles le bloc est suspendu par l'intermédiaire d'un crochet à déclic, dont les détails sont donnés dans les dessins.

Mais quand on veut placer des blocs au pied de la muraille, et afin d'en approcher plus facilement, on emploie un grand ponton portant le bloc à une extrémité et lesté à l'autre, de manière que la ligne de flottaison se rapproche de l'horizontale quand le ponton est chargé.

Pour le coulage des blocs naturels, on emploie les bateaux pontés; les blocs sont posés sur le pont, qui présente une assez forte inclinaison de chaque côté de l'axe longitudinal du bateau, et retenus pendant le trajet par des portières que l'on rabat quand le bateau est arrivé à destination. On

agit alors avec des leviers pour faire glisser quelques blocs, et le mouvement d'oscillation imprimé au bateau par leur chute suffit pour précipiter les autres blocs.

Deux chaloupes à vapeur, à aubes, ayant respectivement 13^{m},20 et 18^{m},80 de longueur, 2^{m},75 et 4 mètres de largeur au milieu, servent à remorquer les pontons des blocs factices et des blocs naturels, jusqu'à l'emplacement où ces blocs doivent être coulés; la première est de la force de 6 chevaux, la deuxième de 12 chevaux.

On se dirige dans le coulage, soit des blocs factices, soit des blocs naturels, au moyen de balises plantées sur la côte.

Blocs factices. — Tous les blocs cubent 20 mètres cubes et ont les dimensions suivantes : longueur 4 mètres, largeur 2^{m},50 et hauteur 2 mètres. Ceux qui sont fabriqués dans le port sont en béton et composés de 2 de pierres et 1 de mortier; le mortier est composé de 1 de ciment de Portland en volume et de 2 $\frac{1}{2}$ de sable.

Dans le grand chantier, on n'a pas encore utilisé le hangar disposé pour la confection des blocs en béton; mais on a construit le long de la voie de fer principale des blocs en maçonnerie de moellons avec mortier de ciment de Portland, où le volume de sable a été porté à 3; on a même essayé de construire quelques blocs avec 3 $\frac{1}{2}$ de sable. Les blocs du port sont immergés au bout de deux mois, mais l'étendue du grand chantier permet de les laisser sécher plus longtemps, et c'est ce qui a conduit à forcer la proportion du sable. En construisant le bloc, on y encastre deux tirants en fil de fer reliés à la partie inférieure par une pièce de

bois, de manière à rendre tout le corps du bloc solidaire des deux points de suspension; les extrémités supérieures de ces tirants portent des boucles, qui viennent saisir, soit les anneaux qui terminent les tiges des verrins de la grue du grand chantier, soit les crochets des pontons; dans le trajet, et par mesure de précaution, on passe en outre sous le bloc une ou deux chaînes en fer, dont les extrémités sont fixées aux pontons.

Les ingénieurs qui ont dressé les projets et exécuté jusqu'ici les travaux de fermeture de la rade sont :

M. Floucaud de Fourcroy, ingénieur en chef, jusqu'en 1861;

M. Pairier, ingénieur en chef, de 1861 au 1er janvier 1865;

M. Daguenet, comme ingénieur ordinaire jusqu'au 1er janvier 1865, et comme ingénieur en chef depuis cette date;

M. Prompt, ingénieur ordinaire, du 1er février 1866 au 16 mars 1868;

M. Stoecklin, ingénieur ordinaire, depuis le 16 mars 1868.

Parmi les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs, on doit citer : M. Lichero, conducteur principal, jusqu'au 1er mars 1872, et M. Millon, conducteur embrigadé, depuis cette date.

Le ciment de Portland a été fourni par MM. Knight, Bevan et Sturge, de Londres, et par MM. John, Bazley, White et brothers, de Londres.

Le señor Gurrutchaga, de Zumaya (Espagne), a fourni le ciment à prise rapide.

XX.

PORT DE MARSEILLE.

EXTENSION DES BASSINS ET INSTRUMENTS DE RADOUB.

Dessins à des échelles variant de $0^{m},0001$ à $0^{m},05$.
Un modèle à l'échelle de $0^{m},0025$.

EXTENSION DES BASSINS.

Le port de Marseille limité, en 1844, à son ancien bassin, d'une surface d'eau de 20 hectares et d'un développement de quais de 3,500 mètres, ne pouvant plus suffire à son activité commerciale, il fut reconnu qu'il y avait lieu de chercher à l'extérieur, au moyen de conquêtes sur la mer, des extensions que les conditions locales ne permettaient plus de trouver à l'intérieur.

Le bassin de la Joliette fut alors décidé. Il présentait une surface d'eau de 22 hectares et un développement de quais de 1,900 mètres; il était mis en communication avec l'ancien bassin par un canal de 400 mètres de longueur.

Le mouvement commercial du port allant toujours croissant, il fut reconnu qu'il faudrait, dans l'avenir, toujours ajouter de nouveaux ouvrages à ceux qui auraient été précédemment achevés. Dans de pareilles conditions, afin d'é-

viter l'exécution de travaux qui pourraient plus tard ne pas s'harmoniser avec ceux que les nouveaux bassins exigeraient, il fut préparé un projet d'ensemble propre à assurer le présent et l'avenir du port.

Ce projet, présenté en 1855, comprenait : une série de môles intérieurs enracinés à terre, formant entre eux une suite de bassins couverts par une digue courant parallèlement au rivage, qui laissait entre elle et les têtes des môles un large chenal permettant une communication commode entre tous ces bassins.

Avec de pareilles dispositions, de nouveaux travaux pouvaient facilement être ajoutés à ceux qui étaient déjà exécutés : il suffisait de construire de nouveaux môles à la suite de ceux qui existaient et de les couvrir par un prolongement de la digue extérieure. Les nouveaux ouvrages s'harmonisaient avec les anciens et paraissaient être d'un seul et même jet avec eux.

Ce projet comprenait en outre un vaste avant-port formé par la construction d'un brise-lames en avant des bassins d'opérations; un certain nombre de passes le mettait en communication avec ces bassins. Cet avant-port était proposé à un moment où les navires à voiles jouaient le plus grand rôle dans les rapports maritimes, où la navigation à vapeur commençait à peine à se développer, et où l'on ne prévoyait pas encore combien allait être rapide son accroissement. Dans de pareilles conditions, un avant-port, projeté surtout pour les navires à voiles, devait avoir principalement des passes faciles et bien orientées; il devait être spacieux pour offrir toute sécurité au mouillage simultané d'un grand nombre de navires; il devait remplir à Marseille les mêmes fonctions

que remplissent à Londres la Tamise, à Liverpool la Mersey, à New-York l'Hudson. Cet ouvrage, dont la dépense était considérable, ne devait que plus tard recevoir un commencement d'exécution.

Ce projet fut approuvé en 1855, et son exécution s'est poursuivie jusque dans ces dernières années, conformément à l'idée qui a présidé à son élaboration : une série de môles ont été construits ou sont en cours d'exécution, et la digue extérieure présente aujourd'hui une longueur totale de 3,070 mètres. Rien n'a été fait pour ce qui concerne l'avant-port.

Les indications qui précèdent ont déjà été données dans une notice publiée à l'occasion de l'Exposition universelle de Paris en 1867; elles ont dû être rappelées ici parce que les idées qu'elles renferment, sauf ce qui est relatif à l'avant-port, sont celles qui continuent à présider à l'élaboration des projets que réclament constamment les besoins du port de Marseille.

L'avant-port de 1855 a dû être modifié par les considérations suivantes :

Les navires à voiles vont en diminuant comme nombre, et le tonnage de chacun d'eux n'éprouve qu'une augmentation assez faible. Par contre le nombre et les dimensions des navires à vapeur vont en grandissant. Or ces derniers peuvent toujours prendre assez facilement les passes des ports. Dans de pareilles conditions, un vaste avant-port, construit en avant de tous les bassins et obligeant à une dépense considérable, n'était plus suffisamment justifié; mais en même temps on reconnaissait que les navires pouvant avoir à s'arrêter, à mouiller même en avant des passes

lorsqu'elles sont engagées, il y avait lieu de faire précéder chaque passe d'un avant-port avec des dimensions proportionnées à l'importance de cette passe.

Un autre rôle que celui que remplissent habituellement les avant-ports, c'est-à-dire le mouillage des navires, paraît devoir être dévolu dans l'avenir à ces ouvrages. Ils doivent, en effet, permèttre les opérations de débarquement et d'embarquement aux navires dont les dimensions atteindront des proportions telles qu'il ne sera plus possible de songer à les recevoir dans les bassins ordinaires, sans crainte d'accidents graves.

Ce double rôle, assigné à ces ouvrages pour Marseille, exige que l'avant-port qui précède la passe principale, au nord, ait des dimensions assez grandes, c'est-à-dire une longueur de 700 mètres sur 520 mètres de largeur.

La suppression du brise-lames de 1855 et la création d'un avant-port important, précédant la passe nord, ont été décidées en 1870. Le jour où le nouvel avant-port sera achevé, un navire, dont les dimensions seraient celles du *Great-Eastern* (200 mètres de longueur), pourra venir y faire ses opérations en toute sécurité. Or l'on est dans le vrai en disant que l'insuccès du *Great-Eastern*, au point de vue commercial, provient de ce qu'il a été construit trop tôt. Peut-être n'en serait-il plus ainsi aujourd'hui. Quoi qu'il en soit, on verra certainement reparaître avec avantage ces navires à grandes dimensions, dans un délai qui ne saurait être bien éloigné.

Marseille, par sa position géographique, par le pays qu'il dessert, verra son mouvement maritime s'accroître constamment. Dans de pareilles conditions, un jour viendra

où, au lieu de s'étendre au nord et au sud des bassins actuels, il sera plus avantageux de se porter en avant de ces bassins. Ce jour-là, le brise-lames de 1855 redeviendra nécessaire, non plus pour jouer le rôle qu'on lui avait assigné à cette époque, mais pour couvrir contre les mers du large les nouveaux bassins que l'on construira en avant de la digue actuelle, au moyen de môles qui seront enracinés à cette digue comme les môles que l'on exécute aujourd'hui sont enracinés à la rive.

Système de construction. — Bien que des détails aient déjà été donnés dans la notice publiée lors de l'Exposition de 1867 sur le système de construction des digues de Marseille, il peut être bon, aujourd'hui que l'expérience a pleinement consacré la valeur de ce système, de le rappeler ici et de le comparer avec les autres systèmes suivis en France et à l'étranger pour des ouvrages analogues.

Digue extérieure. — La digue extérieure du port de Marseille est exécutée au moyen de blocs naturels et artificiels.

Plusieurs grands ouvrages de même nature existaient au moment où cette digue fut projetée : c'était la digue de Cherbourg, en France, celle de Plymouth, en Angleterre; d'autres étaient en pleine voie d'exécution : c'était la digue d'Alger, le breakwater de la Delaware, aux États-Unis; enfin, une digue d'une grande importance, celle d'Holyhead, en Angleterre, était étudiée à peu près en même temps que celle de Marseille. On se bornera à la citation de ces grands ouvrages pour ne pas donner à cette note un trop grand développement.

Une idée principale paraît avoir guidé les auteurs des grandes digues de Cherbourg, Plymouth, Holyhead, la Delaware : c'est celle d'employer simultanément tous les produits des carrières en laissant à la mer le soin de former le talus sur lequel ils pouvaient tenir.

A côté de cette idée principale, on en voit naître une autre, c'est celle de réserver de gros matériaux pour recouvrir le talus extérieur de la masse formant le corps de la jetée : c'est ainsi qu'à Cherbourg on dispose sur ce talus une couche de gros blocs de $1^{m},25$ d'épaisseur en moyenne, que l'on descend jusqu'à environ 5 mètres au-dessous des plus basses mers, limite extrême, dans cette localité, de l'action puissante des vagues. Toutefois, ces blocs ne semblent pas présenter toute la sécurité désirable dans les parties les plus exposées de la digue et dans celles qu'il importe de préserver de toute avarie; on les recouvre à leur tour de blocs artificiels de 20 mètres cubes.

C'est ainsi qu'à Plymouth le talus extérieur est perréyé au moyen de blocs de 80 centimètres d'épaisseur, ayant $1^{m},20$ de long sur 1 mètre de large, dont les joints sont garnis avec du ciment Parker.

A la Delaware, on emploie, pour la défense des talus, des blocs de 4,000 à 5,000 kilogrammes rangés régulièrement et placés en boutisses.

Des dispositions analogues sont suivies à Holyhead.

La digue d'Alger est projetée dans un tout autre système. L'auteur s'est imposé l'obligation de n'employer que des blocs d'une dimension telle qu'ils ne pussent, dans aucun cas, être remués par les vagues, ce qu'il a jugé possible puisque l'action des vagues est proportionnelle à la surface

choquée, tandis que la résistance du bloc croît comme son cube. Il a, par suite, exécuté cette digue exclusivement au moyen de blocs artificiels d'abord de 10 mètres cubes et ensuite de 15 mètres cubes.

L'expérience a démontré que, tandis que, dans le système des digues de Cherbourg, Plymouth, Holyhead, la Delaware, le talus extérieur variait, suivant la situation de l'ouvrage, entre 5 et 10 pour 1 dans la zone d'action de la mer, zone qui se faisait sentir jusqu'à environ 5 mètres au-dessous des plus basses mers, le talus de la digue d'Alger se tenait sous une inclinaison d'environ $1\frac{1}{4}$ pour 1.

La digue de Marseille a été construite en s'appuyant sur la double expérience de Cherbourg et d'Alger. D'une part, on a pris à la digue d'Alger ses grands blocs artificiels pour les opposer directement à l'action puissante des lames; d'autre part, on a pris à la digue de Cherbourg ses blocs naturels de toutes dimensions, c'est-à-dire tous les produits des carrières pour en faire le corps de la digue. Les premiers ont servi de revêtement aux seconds, et l'emploi des uns et des autres s'est fait simultanément, de manière à ne pas laisser les blocs naturels exposés aux puissants effets des lames. Cette action devenant assez faible à 5 mètres au-dessous des basses mers, on a fini par limiter, à 6 mètres au-dessous de ce niveau, l'emploi des blocs artificiels.

Dans un double but de solidité et d'économie, au lieu d'employer, comme dans les digues déjà citées, les produits des carrières tels que l'exploitation les fournit, en mélangeant les gros et les petits matériaux, dans la digue de Marseille, on a fait occuper aux blocs naturels différentes positions suivant leurs dimensions. Au point de vue écono-

mique, les petits matériaux n'ont pas été mélangés avec les gros, afin de conserver le plus de vide possible. Au point de vue de la solidité, on a disposé les gros blocs de manière à leur faire envelopper les petits.

Ces idées rationnelles ont été pleinement confirmées par l'expérience : en effet, la partie de la digue extérieure qui couvre le bassin de la Joliette a été commencée il y a vingt-sept ans; celle qui abrite le bassin de la gare maritime date de seize ans, et enfin celle du bassin National est terminée depuis un an. Or toutes ces parties de la digue sont aujourd'hui en bon état de conservation. Si donc, il y a vingt-cinq ans, lors de la présentation du système, on pouvait dire qu'il fallait être réservé dans l'appréciation de son efficacité, qu'il fallait laisser au temps le soin de prononcer sur sa valeur, il ne saurait plus en être de même aujourd'hui : le temps a prononcé ; il a établi la bonté du système dont l'emploi doit nécessairement se généraliser, par suite des économies notables qu'il réalise.

Ces économies proviennent d'une réduction considérable des matériaux à employer; elles résultent aussi des vides qui sont, à Marseille, d'environ 30 o/o, tandis qu'ils ne sont guère que de 10 o/o dans les digues de Cherbourg, et d'Holyhead.

Les indications suivantes permettront d'avoir une idée de ces économies :

La digue de Cherbourg, établie par un fond situé à	$12^{m},00$
au-dessous des plus basses mers, et dont la crête du parapet, au-dessus du même niveau, est à.....	10, 89
TOTAL.....	$22^{m},89$
a coûté par mètre courant.....	$18,000^{f}\ 00^{c}$

Avec l'expérience acquise, une digue dans les mêmes conditions coûterait aujourd'hui.	13,500f 00c (1)
La digue d'Holyhead, établie par un fond situé à	13m,70
au-dessous des plus basses mers, et dont la crête du parapet, au-dessus du même niveau, est à.	13, 24
TOTAL.	26m,94
a coûté par mètre courant, ...	15,830f 00c (2)
Le breakwater de la Delaware, établi par un fond situé à	10m,00
au-dessous des plus basses mers, et dont la crête, au-dessus du même niveau, est à.	4, 00
TOTAL.	14m,00
a coûté par mètre courant.	7,470f 00c (3)
La portion de la digue de Marseille, qui abrite le bassin National presque entièrement achevé aujourd'hui, établie par un fond situé à.	22m,00
au-dessous des plus basses mers, et dont la crête du parapet, au-dessus du même niveau, est à. . .	9, 00
TOTAL.	31m,00
coûtera par mètre courant.	6,700f 00c (4)

(1) *Travaux d'achèvement de la digue de Cherbourg*, par Bonnin.

(2) Rapport sur les travaux du port d'Holyhead, par M. Aribaut (*Annales des ponts et chaussées*, 1858).

(3) Travaux publics des États-Unis en 1870. Rapport de M. Malézieux.

(4) Cette somme est celle que coûtera la portion de la digue extérieure qui abrite le bassin National. Cette portion de digue est aujourd'hui achevée, sauf le mur d'abri dont la dépense est comprise dans le chiffre de 6,700 francs. Il convient d'ajouter à ces indications qu'à Marseille la digue d'abri est

Les digues de Cherbourg, de la Delaware et de Marseille ont été construites avec des matériaux transportés par mer. La digue d'Holyhead a reçu ses matériaux par terre d'une carrière située à 1,200 mètres de sa naissance; elle s'est donc trouvée dans des conditions plus économiques.

En présence de ces indications, qui font ressortir des économies considérables en faveur du système de la digue de Marseille, et de la bonté de ce système consacré par une expérience de vingt-sept ans, on est conduit à conclure à sa généralisation immédiate dans les nombreux travaux maritimes que les relations fréquentes de peuple à peuple obligent aujourd'hui les gouvernements à entreprendre.

En terminant ce qui se rapporte à l'exécution de la digue de Marseille, il est bon de dire un mot d'une modification importante qu'il peut être très-avantageux, dans certains cas, d'introduire dans les dispositions qui ont été suivies pour les diverses parties de cette digue, exécutées jusqu'à ce jour.

Dans l'étude des travaux maritimes, on a été fréquemment conduit à les projeter avec des proportions restreintes, par suite des trop grandes profondeurs que la mer présentait lorsque l'on voulait s'avancer trop au large, d'où serait résultée une grande augmentation dans les dépenses. L'expérience aujourd'hui acquise autorise, au profit des digues,

toujours notablement agrandie à l'intérieur pour en tirer parti comme quai de débarquement. Cet agrandissement comporte une dépense variable suivant la profondeur d'eau rencontrée et la largeur qu'on lui donne. Dans le cas particulier du bassin National, où la profondeur d'eau est de 22 mètres et où la largeur du quai doit être de 30 mètres, cette dépense supplémentaire est de 4,300 francs par mètre courant. Le mur de quai est établi, comme il est dit plus loin, dans les mêmes conditions que les murs qui bordent les môles intérieurs.

une modification qui permet, dans bien des cas, de ne pas se laisser arrêter par les grandes profondeurs. Cette modification consiste dans l'emploi de matériaux provenant de déblais ordinaires, sables, graviers, etc., pour les parties de la digue situées au-dessous d'une certaine profondeur, où la mer n'a plus d'action sensible, en ayant soin de revêtir ces parties d'une forte enveloppe en pierres. Le brise-lames projeté à Marseille, en 1855, était conçu dans cet ordre d'idées : établie dans un fond de 40 mètres, la partie supérieure, jusqu'à la profondeur de 16 mètres au-dessous des basses mers, était disposée comme la digue déjà construite; la partie inférieure, au delà de cette profondeur, jusqu'au terrain naturel, par conséquent, sur 24 mètres de hauteur, était formée par un massif de sable et gravier revêtu par deux couches de blocs naturels de 12 mètres de largeur mesurée horizontalement. La première de ces couches, de 6 mètres de largeur, était composée de débris de carrières et de moellons ordinaires; et la seconde, de même largeur, était formée de blocs de 100 kilogrammes à un mètre cube : ces deux couches, ainsi disposées, prévenaient toute action de la mer contre le massif central de sable et de gravier. Ce massif devait provenir d'un déblai considérable que la ville se proposait d'entreprendre pour la rénovation d'un quartier important. Dans de pareilles conditions, le massif ne comportait aucune dépense à la charge de l'État, et la digue, avec la profondeur de 40 mètres, n'aurait pas plus coûté qu'une digue dans une profondeur de 20 mètres.

Il a été expliqué ci-dessus qu'on avait renoncé à l'exécution de ce brise-lames, par suite des conditions nouvelles

que présente la navigation, c'est-à-dire, d'une part, l'accroissement considérable de la navigation à vapeur, et, d'autre part, la diminution de la navigation à voiles. Il a été ajouté que ce brise-lames pourra, de nouveau, avoir un jour sa raison d'être. Il n'est pas douteux qu'à ce moment le profil de 1855 ne soit repris.

Parmi les cas où il y aura tout avantage à imiter le profil du brise-lames projeté à Marseille, il convient d'en citer un qui peut se présenter quelquefois; c'est celui de travaux exécutés sur des plages sablonneuses où l'on pourra utiliser, pour les parties inférieures des digues établies dans de grandes profondeurs, les produits de dragages exécutés afin de donner au port un tirant d'eau suffisant.

Môles intérieurs. — Les môles intérieurs sont constitués au moyen de murs de quai, qui en forment le pourtour, et de remblais ordinaires, apportés dans l'enceinte ainsi préparée.

Les murs de quai reposent sur une digue sous-marine en blocs naturels, par l'intermédiaire d'une fondation en blocs artificiels. Ces blocs sont placés en parpaing, à joints contrariés, sans mortier, sur une hauteur de 6 mètres au-dessous du niveau des basses mers.

Le système de blocs artificiels superposés, sans mortier, se prête parfaitement à tous les mouvements qui peuvent se présenter dans les constructions établies sur des terrains mobiles, comme les digues sous-marines, quand elles sont d'une construction récente. C'est principalement pour ce motif qu'il a été employé depuis 1857 à Marseille. Il a donné les meilleurs résultats, et son application tend aujourd'hui à se généraliser dans les travaux maritimes analogues.

Une question importante, en ce qui concerne les môles intérieurs, est celle des dimensions à leur donner.

La longueur de ces môles dépend essentiellement de la largeur du bassin dans lequel ils sont établis. D'après le projet d'ensemble, dont il a été parlé précédemment, un large chenal de communication doit exister entre les têtes des môles et la digue extérieure; la largeur minimum de ce chenal, à Marseille, est de 220 mètres; et comme la plus grande largeur des bassins est de 520 mètres, il en résulte que les môles les plus longs sont projetés avec une longueur de 300 mètres.

La largeur d'un môle dépend essentiellement de son affectation. Il faut autant que possible spécialiser ces ouvrages; on peut alors leur donner une largeur et un aménagement parfaitement appropriés au service qu'ils sont appelés à faire.

Aujourd'hui deux types principaux résultent de l'expérience acquise à Marseille : le premier s'applique aux marchandises de transit qui ne comportent pas de vérification de la part de la douane; ce sont les minerais, les houilles, les fontes brutes. Ces marchandises vont généralement directement du navire dans le wagon, et réciproquement. Exceptionnellement, elles sont déposées à terre momentanément, par suite du manque de wagons ou de navires, ce qui oblige à réserver sur ces môles un emplacement pour dépôt. Une largeur de 60 mètres est suffisante pour ces môles; elle permet l'établissement de huit voies de fer et de deux emplacements pour dépôt, de $7^{m},75$ chacun.

Sur un môle ainsi installé à Marseille, on débarque en seize heures un navire chargé de mille tonnes de minerais,

au moyen de trois grues hydrauliques qui peuvent fonctionner simultanément.

Le second type s'applique aux marchandises qui comportent des vérifications de la part de la douane. Pour ces marchandises, il faut immédiatement, le long des murs de quai, de vastes hangars présentant, pour les bateaux à vapeur surtout, un débarquement rapide. Il est, de plus, avantageux d'avoir, au centre, un magasin à simple rez-de-chaussée pour recevoir les marchandises devant séjourner un certain temps. Afin de satisfaire convenablement à ces conditions, il est nécessaire de pouvoir disposer d'une largeur de 150 mètres. Cette dimension permet de donner 30 mètres à chacun des hangars le long des murs de quai; 30 mètres au magasin central; et 27 mètres à chacune des deux cours charretières qui séparent les hangars des magasins, cours dans lesquelles huit voies de fer peuvent être établies.

Ce système offre l'avantage de recevoir sur le môle même les marchandises, sans avoir à les élever, ce qui simplifie beaucoup la manutention.

En dehors de ces deux types principaux, bien d'autres types peuvent être avantageusement suivis : ainsi une largeur de 80 mètres est très-convenable dès l'instant que l'on supprime le magasin central.

Après la question des dimensions à donner aux môles, vient celle de leur espacement. Cet espacement a été fixé d'une manière générale à 120 mètres, à Marseille. Il est bon toutefois de réserver, de distance en distance, un espacement plus considérable pour le mouillage des navires qui ne sont pas en opération.

Pont-levis ou tournant à volonté, sur la passe de la Joliette. — Un pont tournant est en ce moment en cours d'exécution à Marseille. Il présente des dispositions nouvelles, et c'est à ce titre qu'il peut être intéressant d'en parler ici.

Ce pont, à établir sur la passe de la Joliette, a pour objet de suppléer à l'insuffisance du pont tournant actuel, à deux volées en charpente, manœuvré à bras d'homme, et ne répondant pas aux besoins de la circulation.

Ce pont est le seul qui relie, avec la terre-ferme, la jetée extérieure des nouveaux ports, sur les vastes quais de laquelle se font des embarquements et des débarquements considérables. La fréquentation journalière y atteint 1,500 voitures qui desservent des bateaux à vapeur partant à des heures régulières pour le Levant, les Indes et le Brésil. Il faut y ajouter les trains qui circuleront sur des rails dont le niveau, commandé par celui des voies existant aux abords, ne peut dépasser la cote ($+ 2^{m},60$) [1].

D'autre part la passe de la Joliette est la seule qui fasse communiquer l'ancien bassin et celui de la Joliette avec les nouveaux bassins créés à la suite de ce dernier. La circulation maritime exigera environ cinquante ouvertures du pont par jour, dont dix pour bâtiments mâtés et quarante pour les embarcations qui ne pourront passer sous le tablier descendant à la cote (+ 2 mètres).

Une rotation ordinaire interrompt la circulation sur la voie de terre pendant huit minutes au moins. Pour cinquante

[1] Dans le courant de cette notice, les cotes entre parenthèse sont rapportées au niveau des basses mers, lequel est dépassé de 1 mètre environ par le niveau des hautes eaux.

rotations le système ordinaire aurait donc arrêté les voitures pendant $6^h,7$ de la journée, ce qui eût été intolérable.

Cette difficulté sera résolue en réservant exclusivement pour les bâtiments mâtés le quart de révolution du pont autour d'un axe vertical. Quant aux embarcations de servitude, elles passeront moyennant un simple soulèvement de la volée qui n'arrêtera les voitures que pendant deux minutes au plus. De cette façon la circulation sur la voie de terre ne sera interrompue que pendant $2^h,7$ de la journée, ce qui est parfaitement admissible.

Les manœuvres s'effectueront au moyen d'eau à 52 atmosphères de pression puisée dans les accumulateurs de la compagnie des Docks.

Cette eau s'introduit dans une presse hydraulique verticale dont le piston, placé un peu en deçà du centre de gravité du tablier par rapport à la culasse, aide à soulever le pont et en outre sert de pivot pour sa rotation. Par une légère montée du pivot, on détache le tablier de ses appuis fixes, de manière qu'il ne porte plus que sur le pivot et sur deux galets de culasse. En cet état et suivant la circonstance, ou bien on produit la rotation autour du pivot au moyen de petites presses hydrauliques attelées aux deux bouts d'une chaîne qui embrasse une couronne fixée sous le tablier, ou bien on continue la montée du pivot qui soulève le pont en le faisant tourner autour de la ligne qui joint les pieds des galets comme charnière horizontale.

La largeur du pont est de 8 mètres comprenant une voie ferrée, une voie charretière, deux trottoirs et deux fermes extrêmes, qui supportent les entretoises du plancher et forment garde-corps.

Pour que le plancher occupât le moins de hauteur possible entre les rails et le niveau de l'eau, les longerons et les traverses qu'ils supportent ont été logés dans la hauteur des entretoises, au lieu d'être posés par-dessus.

Sous le plancher sont appliquées des croix de Saint-André en fers plats, qui forment contreventement horizontal.

Les entretoises, espacées de $2^{m},20$, sont invariablement encastrées par leurs extrémités sur les montants verticaux des poutres principales, de manière à constituer des fermes transversales dont la rigidité augmente la résistance de chaque entretoise, en même temps qu'elle empêche le déversement des fermes longitudinales.

Celles-ci ont une hauteur uniforme de $2^{m},62$. Elles sont à grandes mailles et présentent 18 panneaux, dont 12 pour la volée et 6 pour la culasse. Leurs tables supérieures et inférieures sont formées d'une semelle générale de 40 centimètres de large, qui est renforcée en approchant du pivot, par une deuxième et une troisième semelle de 50 centimètres, et enfin par une quatrième et une cinquième semelle de 60 centimètres de large.

Les fermes reposent sur le pivot par l'intermédiaire d'un fort chevêtre qu'on a noyé dans le plancher sur une grande partie de sa hauteur, afin de rapprocher son point d'appui sur le pivot du centre de gravité du tablier, et de diminuer la profondeur de l'encuvement.

En service, le pont repose sur des sommiers fixes placés en quatre points de sa longueur : sur les arêtes des deux quais de la passe, sous le chevêtre et sous l'avant-dernier montant de la culasse. Dans cette position les galets de culasses ont séparés du rail circulaire, sur lequel ils doivent

tourner, par un jour de 3 centimètres; le dernier panneau de la culasse se trouve donc en encorbellement, et tire toute sa résistance de la rigidité des fermes.

Lorsque le pivot monte, le pont soulevé tourne autour de l'horizontale, passant par l'appui voisin des galets de culasse jusqu'à ce que ceux-ci soient descendus assez pour porter sur le rail; à partir de ce moment, c'est ce nouvel appui qui forme la charnière horizontale du tablier, et celui-ci se détache des sommiers voisins comme il s'était précédemment détaché des sommiers plus éloignés.

Cette disposition remplace les excentriques, coins ou verrins que, dans les autres systèmes, on est obligé d'établir sous les appuis autres que le pivot, afin de les abaisser avant la rotation du pont. Cette simplification permet de multiplier à volonté le nombre des appuis, chose impraticable quand chacun d'eux exige un appareil de calage particulier. On en a profité pour faire porter le pont, en service, sur le quai voisin du pivot, ce qui réduit la portée de la volée strictement à la largeur de la passe ($21^{m},30$).

Pour la rotation, la montée du pivot est arrêtée à 20 centimètres; pour le grand levage, elle peut s'élever jusqu'à 90 centimètres. La pente du tablier est alors de 68 millimètres, et la hauteur libre entre le niveau des eaux moyennes et le dessous de la volée atteint $4^{m},60$ vers son extrémité, tandis qu'on n'a que $1^{m},80$ au-dessous du pont, en service.

Le piston a 2 mètres de longueur, de façon qu'il est encore engagé de $1^{m},10$ dans la presse au moment de sa montée extrême. Pour prévenir les accidents qui résulteraient d'un levage dépassant cette limite, le tuyau d'amenée de l'eau dans la presse porte un robinet qui est fermé

par le piston lui-même dès qu'il atteint la limite de sa montée.

Le chevêtre est contreventé intérieurement par des cloisons transversales qui empêchent son déversement sous l'action des poussées obliques qu'il supporte lorsqu'il s'incline avec le tablier.

Pour que cette inclinaison s'opère librement sur le pivot vertical, celui-ci est articulé avec le chevêtre au moyen d'une forte charnière consistant en un goujon horizontal emboîté sur le chapeau du pivot, et dont la surface supérieure hémicylindrique est épousée par une gorge de même diamètre, que présente un patin fixé sous le chevêtre. Des rebords qui existent respectivement sur le chapeau, sur le patin et sur le goujon, empêchent tout glissement horizontal du tablier sous l'action du vent.

Pendant la rotation, la culasse est maintenue appuyée sur le rail circulaire par une surcharge de 10 tonnes répartie entre les deux galets de roulement.

Le piston et le corps de la presse sont alésés de manière que le premier entre à frottement doux dans le second, qui le maintient exactement dans la verticale. Les garnitures étanches ne sont pas formées d'un cuir embouti, qui serait déchiré par la rotation du plongeur, mais de rondelles en caoutchouc vulcanisé qui sont serrées par l'eau sous pression à la manière dont les presse-étoupes sont serrés par des boulons.

Toutes les manœuvres sont produites avec la plus grande facilité par un seul mécanicien placé dans un poste attenant à son logement, et d'où il découvre le pont et la passe. Il a sous la main deux leviers qui commandent deux tiroirs dis-

tribuant l'eau comprimée, l'un dans la presse de levage (L), l'autre dans les presses de rotation (R).

Pour ouvrir entièrement la passe, la manœuvre consiste : 1° à tirer le levier (L) jusqu'à ce que le pivot soit monté de 20 centimètres; 2° à tirer le levier (R), qui met en action la presse d'ouverture; elle tire la chaîne qui fait tourner le pont. On referme la passe en deux temps inverses.

Le levage est encore plus simple; il n'exige qu'un coup du levier (L) pour monter et un coup inverse pour descendre. Il est bien entendu qu'on arrête la montée dès que la volée est assez relevée pour laisser passer l'embarcation qui se présente.

Les levages consommeraient un travail considérable si, dans les descentes, on évacuait au dehors l'eau comprimée qui a soulevé le pont. Mais on réduit cette dépense à fort peu de chose au moyen d'une inversion analogue à celle qui a été si heureusement introduite dans les locomotives. Dans la descente, le poids du pont refoule dans les accumulateurs l'eau qu'ils avaient fournie pour la montée, sauf la fraction correspondante au travail absorbé par les frottements.

A cet effet, le piston de la presse est à deux faces. La plus grande, celle du dessous, correspond à la poussée nécessaire pour soulever le poids du pont augmenté des résistances passives; elle est en communication permanente avec l'accumulateur. La face supérieure, annulaire, correspond à une poussée double des résistances passives; elle communique alternativement avec le dehors et avec l'accumulateur. Dans le premier cas, la poussée inférieure agit seule et le pont monte; dans le second cas, la poussée supérieure s'ajoutant au poids du pont refoule dans l'accumulateur l'eau qui était sous le piston.

La dépense finale se réduit ainsi à l'eau qui remplit la capacité annulaire au-dessus du piston. C'est environ le cinquième de ce qu'on dépenserait sans inversion.

La pression normale de l'eau dans le tuyautage des docks est de 52 atmosphères; mais, à cause des pertes de charge de toute nature, on ne suppose que 49 atmosphères de pression effective sur les pistons.

Le poids à soulever est d'environ 260 tonneaux. En tenant compte des résistances passives, on a donné au piston-pivot des diamètres de 850 et 750 centimètres. Sa section annulaire est ainsi de $0^{mq},1257$ et consomme $0^{mc},0566$ d'eau comprimée par levage exigeant une course de $0^{m},45$ en moyenne.

Chaque ouverture par rotation consomme $0^{mc},0763$ d'eau comprimée. La dépense journalière peut donc s'élever, pour quarante levages et dix ouvertures, à $3^{mc},027$ d'eau comprimée. Cette eau est payée par l'État à la compagnie des Docks à raison de 1 franc par mètre cube, d'après le volume évacué des presses dans une bâche à compteur.

Si l'eau comprimée des docks venait à manquer, on y suppléerait en refoulant de l'eau dans les presses au moyen d'une pompe à bras.

La presse de levage est calée solidement entre des bajoyers en pierres de taille. Pour faciliter la construction et l'asséchement de son encuvement, on a ramassé les organes de levage dans la moindre hauteur possible; le radier n'est ainsi qu'à 1 mètre au-dessous des basses mers. Cet encuvement se prolonge de manière que l'on peut tirer la presse en dehors du pont ouvert, afin de soulever le piston et de visiter les garnitures; pendant ces visites, le pont repose sur les massifs qui entourent le pivot.

En dehors de l'encuvement particulier de la presse principale, l'encuvement général de rotation est simplement pavé sur forme de sable. Ce pavage est à la cote (+ 1 mètre), ce qui assure le libre écoulement des eaux sur sa surface.

Les quais qui supportent le pont ont été établis en remblai sur le fond naturel, dont les couches supérieures sont vaseuses; ils sont donc sujets à tasser. Bien qu'on ait cherché à hâter leurs tassements en les surchargeant provisoirement de blocs artificiels, ils pourront descendre encore sensiblement. On y remédiera en relevant les divers sommiers d'appui au fur et à mesure qu'ils s'abaisseront.

Quant au pivot dont le tassement aurait plus d'inconvénients, il repose sur une pile en maçonnerie dont la fondation a été descendue jusqu'au rocher à la cote ($-14^{m},06$), au moyen d'un caisson à air comprimé de 6 mètres de diamètre.

Le mécanisme adopté présente de grands avantages sur le mécanisme ordinaire à couronne de roulement.

La couronne ne dispense pas d'avoir des presses pour soulever le pont en cas de réparations, tandis que la presse-pivot suffit seule à tous les besoins.

Elle permet de supprimer tout appareil de calage et, par suite, d'appuyer le pont en service sur le quai voisin du pivot.

Pour les ponts d'un poids et d'une largeur considérables, la couronne est difficile à tourner et à maintenir exactement dressée. Au contraire, la presse s'adapte aisément aux dimensions les plus fortes, comme on le voit par le pont des bassins de radoub de Marseille.

Un tassement des fondations met la couronne hors d'u-

sage, tandis qu'il a peu d'inconvénients pour la presse, facile à relever.

Certains galets peuvent se trouver surchargés d'une manière dangereuse si, par une cause quelconque, le poids total se répartit entre eux autrement qu'on ne l'a prévu. Il n'en peut être ainsi du pivot, calculé pour porter seul la totalité de la charge.

Le frottement des galets devient notable si l'on n'a pas soin de purger souvent les couronnes des matières qui peuvent s'y déposer. Au contraire, le frottement du piston contre l'eau qui le porte et contre ses garnitures est toujours faible, ainsi que celui des galets de culasse.

Par cette raison, et grâce à l'emploi de l'eau comprimée avec inversion, les manœuvres se font à moins de frais qu'à l'ordinaire.

Enfin, la presse-pivot, seule, était capable de produire à volonté les deux rotations du tablier (autour d'un axe vertical ou bien autour d'une charnière horizontale), sans lesquelles on n'aurait pu obtenir la rapidité de manœuvres exigée par les fréquentations exceptionnelles de la passe et du pont de la Joliette.

Le poids des matériaux employés à la construction du pont et de son mécanisme se décompose ainsi :

Bois	30 tonnes.
Fers	145
Fonte, 1re fusion	75
Fonte, 2e fusion	25
Divers	25
Total	300

Ces ouvrages sont évalués à 225,000 francs.

La pile centrale a coûté 66,085 francs.

En dehors de ces dépenses, la construction de quais et de maçonneries, et les raccordements avec les voies existant aux abords, doivent coûter environ 335,000 francs.

INSTRUMENTS DE RADOUB.

Exposé. — Les nouveaux bassins de radoub du port de Marseille ont été livrés au commerce au mois de juillet 1871.

Avant cette époque, les instruments de radoub se réduisaient à un dock flottant en charpente et à deux formes sèches en maçonnerie construites provisoirement dans le canal de communication, entre le vieux port et le bassin de la Joliette. Ces moyens tout à fait insuffisants firent décider la construction d'appareils de radoub définitifs dans l'anse dite *de l'Attaque*.

Le projet, dressé en avril 1864, comprenait un bassin central sur lequel s'ouvraient deux formes sèches et un appareil élévatoire du système Clark, avec un autre bassin au nord pour recevoir les pontons chargés de navires par l'appareil Clark.

En 1867, il fut décidé que cet appareil serait remplacé par deux nouvelles formes en pierre. Ce changement se justifiait par le prix modéré des formes résultant des conditions favorables dans lesquelles elles devaient s'exécuter et par la supériorité d'une forme en pierre sur un ponton flottant.

Le nombre des formes sèches a été porté ainsi à quatre, qui sont actuellement exploitées. En outre, il reste des sur-

faces disponibles pour en établir sept autres au fur et à mesure que les besoins du commerce l'exigeront. On pourra donc porter à onze le nombre total des formes groupées dans l'anse de l'Attaque.

L'emplacement affecté à ces ouvrages forme un rectangle de 745 mètres de longueur sur 280 mètres de largeur, comptée à partir du bassin National qui le borne à l'ouest. Au nord s'élèvent les hauteurs du cap Pinède. Le côté est de ce rectangle était coupé plusieurs fois par les sinuosités de l'ancien rivage qui s'y élevait jusqu'à 21 mètres au-dessus des basses mers. Ces hauteurs s'effacent au sud, où s'étendent des terres-pleins conquis sur la mer et qui offrent de grandes surfaces disponibles pour les constructions de toute sorte.

Le terrain était composé uniformément de couches, à peu près horizontales, d'argile très-compacte alternant avec des bancs de grès, et il était parsemé de massifs irréguliers de poudingue. En somme, il formait une masse dure et peu perméable. Les déblais considérables à y creuser et les maçonneries soignées à y construire ne pouvaient s'exécuter qu'à sec.

A cet effet, l'emplacement des ouvrages a été entouré de batardeaux en béton passant autant que possible sous les quais, de sorte que ce béton a servi plus tard à former le massif de ces quais.

Les travaux, qui ont été commencé au mois de novembre 1864 et qui s'achèveront en 1873, comprennent principalement,

1° Les travaux préparatoires : construction de batardeaux et épuisements dans leur intérieur;

2° Les terrassements et maçonneries : arasement général à (+ 2^m,40)[1] de l'emplacement des ouvrages et de leurs abords; construction de la passe de communication avec le bassin National et fondations de son pont tournant; construction du bassin central, de quatre formes sèches, des égouts et des bâtiments de la machinerie d'épuisement;

3° Les ouvrages en ferronnerie : bateaux-portes, machines d'épuisement et pont tournant sur la passe.

Travaux préparatoires. — Dès l'origine, on a construit un batardeau général entourant l'ensemble des formes et des bassins projetés. Il se compose d'une branche longitudinale de 658 mètres de longueur, qui se retourne d'équerre à ses extrémités pour venir s'enraciner au rivage par deux traverses de 160 et de 155 mètres de longueur.

Sur ce grand batardeau a été greffé plus tard un batardeau spécial entourant la passe d'entrée. Il avait 245 mètres de longueur.

Le développement total des enceintes en béton a atteint ainsi 1,218 mètres. Elles ont été coulées par des fonds naturels de 0 à (— 6 mètres), dans les fouilles descendues jusqu'à des cotes variant entre (0^m,00) et (— 11 mètres). Leur épaisseur a été calculée moyennement à raison des 45 centièmes de la hauteur totale comprise entre le fond de la fouille et le couronnement à la cote (+ 2^m,40); elle varie depuis 2^m,20 jusqu'à 6 mètres. Le cube total des maçonneries de ces batardeaux s'est élevé à 25,800 mètres cubes.

[1] Dans le cours de cette notice, on désignera les hauteurs par des cotes entre parenthèses rapportées au niveau des basses mers, lequel est inférieur de 1 mètre environ au niveau des hautes eaux.

Il a fallu des précautions continuelles pour mener à bien la construction de ces immenses ouvrages, dont la solidité et l'étanchéité étaient d'une importance capitale pour la suite des travaux.

Les jetées du bassin National n'existant pas encore à l'époque de la construction du grand batardeau, le calme nécessaire pour ce travail n'était assuré que par une jetée en enrochements établie parallèlement et à 60 mètres environ en dehors du grand côté du batardeau. Cette jetée, arasée à 2 mètres au-dessus de l'eau avec une largeur de 2 mètres en couronne, a été franchie maintes fois par les vagues du large qui ensablaient les fouilles, disloquaient les coffrages destinés à maintenir le béton et obligeaient ainsi à recommencer ces préparatifs.

La première opération consistait à creuser jusqu'au terrain résistant le lit de mer sur lequel on devait établir le batardeau. Dans la région sud, les couches supérieures étaient formées de sable vaseux qui a été extrait au moyen d'une drague à godets. Dans la région nord, on a trouvé sur 2 mètres d'épaisseur moyenne un mélange très-serré de sable fin et de végétations marines enchevêtrées, dites mattes. Cette couche, trop résistante pour être entamée par les godets des dragues, a été extraite au moyen d'un ponton à dents et à cuillers mû par une machine de la force de huit chevaux. Cet engin a rendu d'excellents services; parfois il a amené des blocs d'enrochement atteignant 1 mètre cube. Les fouilles étaient ainsi descendues jusqu'à ce que l'on découvrît le terrain solide, qui était de l'argile dure ou quelquefois du poudingue.

Ensuite, au moyen de pieux réunis entre eux par des

longrines et des traverses, on formait un premier échafaudage, sur lequel on installait des dragues à treuil qui nivelaient les sillons creusés par le ponton à cuillers et nettoyaient à vif le fond de la fouille.

Puis, avait lieu le battage de pieux placés avec soin, à des distances de $2^{m},50$ d'axe en axe, pour former le coffrage du béton. Ces pieux, de 30 centimètres d'équarrissage, étaient battus au refus d'un mouton de 400 kilogrammes, ce qui leur donnait une fiche de 40 à 80 centimètres dans le terrain solide. Leurs têtes étaient reliées par des longrines et des traverses de même échantillon. Leurs intervalles étaient remplis par des vannages horizontaux de 8 centimètres d'épaisseur.

Enfin, immédiatement avant le coulage du béton, des ouvriers armés de scaphandres descendaient dans le fond pour en faire un dernier nettoyage et, cette opération terminée, ils veillaient à ce que les vannages inférieurs reposassent bien sur le terrain nettoyé à vif.

Le béton était fabriqué aussi près que possible du lieu d'emploi.

Le mortier, composé de 400 kilogrammes de chaux du Theil en poudre pour $1^{mc},07$ de sable non tassé, était broyé dans des manéges à vapeur.

Le béton était composé de deux volumes de mortier pour trois volumes de pierrailles concassées à l'anneau de 6 centimètres. Ces matières étaient mélangées à l'aide de la griffe à dents sur des aires en planches.

Aussitôt fabriqué, le béton était chargé dans des caisses demi-cylindriques en tôle, s'ouvrant par le bas pour le coulage et jaugeant un tiers de mètre cube. On les portait contre le

coffrage où elles devaient être versées, soit par mer au moyen de bateaux, soit au moyen de wagons roulant sur des voies portées par des échafaudages. Une grue roulant sur ces mêmes échafaudages, et portant un treuil monté sur des rails transversaux, permettait de soulever les caisses, de les descendre sur le point précis où l'on devait les couler, et, une fois vidées, de les ramener sur leur véhicule, qui servait à les remporter.

Le béton était coulé par couches horizontales de 1 mètre de hauteur sur environ 15 mètres de longueur. On les superposait en ménageant une retraite d'environ 1 mètre de l'une à l'autre, de manière à terminer chaque reprise en gradins, devant lesquels le béton venait s'asseoir sans glissement lorsqu'on reprenait ultérieurement le coulage. Les laitances s'échappaient en partie par les joints des vannages; le reste, poussé devant la couche en coulage au fur et à mesure de son avancement, finissait par tomber au pied des gradins d'où on l'enlevait soigneusement, soit au scaphandre à l'aide de seaux, soit au moyen d'une pompe Letestu.

Tous déchets et tassements compris, il est entré dans les bétons 562 décimètres cubes de mortier par mètre cube de massif durci, soit 37 décimètres cubes de plus que la proportion ($0^{mc},525$) calculée sur le volume du béton mesuré dans les brouettes au moment de sa fabrication.

Le béton, arasé à la cote ($0^{m},00$), a été surmonté d'un mur en maçonnerie de $2^{m},40$ de hauteur sur 1 mètre d'épaisseur, pour arrêter les hautes eaux et soutenir les terre-pleins.

L'épuisement du grand batardeau a été exécuté au mois

d'octobre 1866 au moyen de deux norias à godets jaugeant un hectolitre chacun, de trois pompes rotatives et d'une pompe Farcot, mues par des locomobiles de 8 et 10 chevaux.

Après l'épuisement général il a suffi d'une noria, débitant ordinairement six litres par seconde, pour enlever toutes les infiltrations qui s'amassaient dans le chantier. Si l'on note que ce chantier avait 8 mètres de profondeur au-dessous des basses mers et un périmètre de 1,876 mètres, formé sur un quart de son développement par le rivage, et sur les autres trois quarts par le batardeau en béton, on reconnaîtra, d'une part, que le système d'exécution des travaux a été bien justifié par la nature compacte et imperméable des terrains; d'autre part, que l'étanchéité du batardeau a atteint toute la perfection qu'il était permis d'espérer. Cet heureux résultat, obtenu malgré les difficultés de tout genre de cette immense entreprise, est dû aux soins attentifs et incessants qui ont présidé à la préparation des fouilles, à la confection des bétons et à leur coulage.

Le batardeau spécial de la passe est celui qui a été établi dans les plus grandes profondeurs; elles varient entre 5 et 11 mètres au-dessous des basses mers. En outre, l'urgence des travaux qui devaient s'exécuter dans l'intérieur de ce batardeau a obligé d'y épuiser les eaux très-peu de temps après le coulage du béton. Par suite de ces deux circonstances, des bétons récemment coulés ont eu à supporter des pressions dépassant de beaucoup les limites ordinaires. Ces pressions ont atteint $3^k,60$ par centimètre carré pour du béton âgé de trois mois, et $12^k,50$ pour du béton âgé de sept mois.

De tels efforts devaient déformer sensiblement les mas-

sifs de béton. En effet, les diverses parties droites ont fléchi comme des poutres sous les poussées extérieures : ainsi le bajoyer nord de la passe a pris jusqu'à 80 millimètres de flèche à sa partie supérieure, soit presque le $\frac{1}{1000}$ de sa longueur, qui était de 84 mètres entre les parties en retour. Les flexions ont été accompagnées de quelques fissures, les unes superficielles sur les parements qui se trouvaient étirés, d'autres traversant toute l'épaisseur du batardeau (une de ces dernières a atteint 12 millimètres de largeur). Ces accidents ont suivi avec une régularité remarquable la marche des épuisements, progressant quand on abaissait la nappe d'eau intérieure, stationnaires quand son niveau était maintenu. Par prudence ce niveau a été arrêté à la cote — 8 mètres ; les fondations au-dessous ont été exécutées sous l'eau, ou bien à l'aide d'épuisements locaux de petite étendue. A partir de ce moment le batardeau a fonctionné pendant plusieurs mois sans aucune déformation nouvelle.

Ces observations montrent combien on peut compter sur la solidité des bétons fabriqués avec la chaux du Theil lorsqu'ils sont coulés sous l'eau avec les soins convenables. Aussi la démolition des parties de batardeau qui fermaient la passe a-t-elle été des plus laborieuses : les pics s'y usaient sans résultat ; on n'a pu en venir à bout qu'à l'aide de petits pétards.

Ouvrages définitifs. — En même temps que l'on construisait le batardeau général, on faisait le dérasement à la cote + $2^{m},40$ des hauteurs qui bordaient les chantiers à l'est.

La dureté des terrains a exigé l'emploi de la poudre par pétards chargés de 110 à 440 grammes. La densité des

divers terrains atteignait 2,214 pour l'argile et 2,572 pour le grès. Les talus ont été coupés au $\frac{1}{5}$. Ils sont restés nus sur les parties où le poudingue et le grès dominent, mais il a fallu revêtir d'un masque en maçonnerie la coupe d'une butte en argile qui se serait délitée par les alternatives de sécheresse et d'humidité. Ce revêtement a $18^{m},50$ de hauteur et seulement 96 centimètres d'épaisseur moyenne, soit le $\frac{1}{20}$ de la hauteur.

Aussitôt après l'épuisement du batardeau général, on a attaqué le creusement des bassins sur un grand nombre de points. Dix-neuf grues portant vingt-cinq treuils, dont vingt et un à bras et quatre à vapeur, ont été installées sur les quais est et ouest et sur un pont en charpente qui traversait le bassin central. Sous chaque grue on a foncé un puits d'où partaient des voies rayonnant dans diverses directions. Les déblais étaient chargés dans des caisses de 600 décimètres cubes; chaque caisse reposait sur un wagon plat qui l'amenait sous la grue; les treuils élevaient les caisses, les portaient sur la voie installée sur le quai et les vidaient par basculement dans des wagons de $1^{mc},80$ de capacité. Ces wagons étaient traînés par des chevaux vers la partie ouest du chantier où on les déchargeait pour remblayer jusqu'à la cote $+ 2^{m},40$ en arrière de la digue extérieure en enrochements.

L'approfondissement a été exécuté d'abord jusqu'à la cote — 4 mètres; puis il a été repris pour être descendu à la cote — 8 mètres.

Toutefois on n'aurait pu creuser jusqu'à cette profondeur au pied des batardeaux, qui ne descendaient qu'à des cotes variant entre — 5 et — 7 mètres, sans les déchausser d'une manière très-dangereuse. Au niveau de leur fondation on

a conservé une banquette en terre d'au moins un mètre de largeur suivie d'un talus à 45°; cette banquette, arrondie et revêtue d'un perré maçonné de 50 centimètres d'épaisseur, ne peut gêner en rien les navires. Elle a été exécutée successivement par petites longueurs sans occasionner aucun accident.

Des banquettes analogues ont été réservées au pied des quais en déblai pour diminuer les risques d'éboulement des terrains et le cube des maçonneries qui les revêtent.

Au-dessus de la banquette, le quai est formé d'un revêtement de 1 mètre d'épaisseur moyenne en maçonnerie de moellons ordinaires, aussi bien devant le batardeau en béton que devant les déblais qui étaient coupés verticalement. Le béton était relié au masque en maçonnerie au moyen de nombreux arrachements. Le revêtement des terrains a été motivé par leur irrégularité et la crainte de leur dégradation.

Au-dessus des massifs de béton, comme au-dessus des bancs de terrain dur, la maçonnerie n'est plus appliquée en revêtement, mais forme un mur de soutenement qui doit résister à la poussée des remblais. Dans cet étage l'épaisseur du mur est calculée moyennement à raison de 0,36 de sa hauteur.

Au-dessus de l'eau, les quais sont parementés en pierres de taille de 50 centimètres de hauteur d'assise avec une bordure de 1 mètre de largeur. Au niveau de l'eau ils portent des chaînes, en fer galvanisé, pour le sauvetage des personnes qui tomberaient accidentellement dans les bassins. Ils présentent de 20 en 20 mètres des organeaux en fer galvanisé logés dans des refouillements du parement, qui alternent avec des canons d'amarrage en fonte. Plusieurs

bouées pour le touage des navires sont amarrées sur des anneaux ancrés dans des massifs en maçonnerie qui se trouvent noyés dans le fond du bassin au-dessous de la cote — 8 mètres.

De nombreux escaliers facilitent les embarquements. Les musoirs et le quai sud de la passe, contre lesquels les navires sont poussés par les vents du nord, sont garnis de défenses en charpente pour amortir les chocs qui pourraient avarier les navires et les maçonneries. Ces défenses, formées de pièces de $0^m,35/0^m,35$, ont une épaisseur totale de 77 centimètres.

Sur les quais seront installées des grues hydrauliques formées d'une tourelle en fonte portant d'un côté la chèvre, de l'autre la cabane d'abri des mécanismes et de leur conducteur. On y établira aussi un grand trépied oscillant à vapeur (système de Southampton) de 60 tonnes de force, pour mâter les navires et transborder les chaudières.

La longueur totale de la forme n° 1 entre ses parements extrêmes est de 145 mètres aux fondations, et de $141^m,50$ au couronnement. Elle pourrait recevoir un navire de 132 mètres de longueur. Le plus grand qui y ait été réparé jusqu'à ce jour est le paquebot *la France*, de 130 mètres de longueur.

La tête amont de cette forme est occupé provisoirement par un bateau-porte qui la sépare du bassin destiné à la construction ultérieure de nouvelles formes.

L'extrémité aval est formée par la chambre du bateau-porte d'entrée. Il s'y trouve deux rainures espacées l'une de l'autre de 5 mètres; celle de l'intérieur reçoit habituellement le bateau-porte; celle de l'extérieur sert en cas de ré-

paration à la première ou pour un navire exceptionnellement long.

Les bateaux-portes consistent en une coque étanche en fer, susceptible d'être échouée ou mise à flot sans le secours des pompes, par la simple addition ou la suppression d'un lest d'eau amovible. Cette opération se fait au moyen de vannes et de soupapes qu'on manœuvre de la passerelle qui couronne le bateau-porte.

Le radier de la chambre du bateau-porte aval est à la cote $-7^{m},60$. A la suite de cette chambre, le radier de la forme commence à la cote -8 mètres; puis il se relève par une pente longitudinale de $0^{m},0075$ analogue à celle de la quille des navires, en sorte qu'il se termine à l'amont à la cote -7 mètres.

Les principales dimensions des profils transversaux sont :

PROFILS CONSIDÉRÉS.	LARGEURS		FRUITS DES BAJOYERS.
	AU COURONNEMENT.	AU RADIER.	
Chambre du bateau-porte aval..	$25^{m},40$	$13^{m},00$	0,62 uniforme.
Forme proprement dite.....	25 ,70	11 ,60	0,05 avec banquettes.

Ces profils se rapprochent autant que possible de ceux des navires, ce qui donne le maximum d'économie dans les frais de construction et dans ceux d'exploitation.

Les bajoyers de la forme, dont aucune partie ne se projette en saillie sur le profil de la chambre du bateau-porte, sont coupés par trois banquettes horizontales de $1^{m},20$ de

largeur, utiles pour la pose des épontilles d'accorage et pour la circulation. Au pied des bajoyers règne une dernière banquette de $1^{m},80$ de largeur qui suit la pente longitudinale du radier, à 30 centimètres au-dessus de lui. Des escaliers relient ces diverses banquettes avec le haut et le bas de la forme aux extrémités et au milieu de sa longueur.

Le radier présente deux pentes transversales de 17 millimètres qui aboutissent à une rigole centrale d'égouttement. Celle-ci passe sous les tins en charpente placés de 2 en 2 mètres entre des dés en pierre de taille et dont la hauteur ($1^{m},10$) permet de réparer le dessous de la coque des navires.

Les bajoyers portent de nombreuses boucles et des canons pour les amarrages. Sur le couronnement est établi, à l'entrée de la forme, un fort treuil à bras permettant de haler un navire qui voudrait entrer dans la forme malgré un vent contraire.

Deux fosses descendant à la cote — $11^{m},60$ sont ménagées dans le radier à l'aplomb du gouvernail des navires de diverses longueurs que la forme peut recevoir. Ces fosses permettent de descendre le gouvernail tout d'une pièce autant qu'il est nécessaire pour le dégager de la jaumière : elles dispensent ainsi de former la mèche du gouvernail de deux pièces assemblées, ce qui est une cause de faiblesse.

L'épaisseur des maçonneries est de $2^{m},50$ au radier et dans les parties les plus faibles des bajoyers. Les plus grands soins ont été apportés à leur exécution.

Les mortiers étaient composés de 400 kilogrammes de chaux blutée du Theil pour $1^{mc},07$ de sable non tassé. Ce poids de chaux dépasse un peu celui qui donne la quantité

de chaux en pâte nécessaire pour remplir les vides du sable, condition essentielle pour assurer l'étanchéité des maçonneries.

Exceptionnellement on a employé des mortiers de ciment dont le dosage était fixé, d'après le même principe, à 470 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable non tassé.

Pour assurer d'une manière positive la provenance et le dosage des chaux et des ciments, ces matières étaient achetées à part et fournies par l'Administration au moment de fabriquer les mortiers.

Les bordures des maçonneries sont en pierre de taille de Cassis, arrondies sur les arêtes pour éviter les épaufrures. Les parements vus sont en moellons smillés de 25 centimètres de hauteur d'assise; les massifs en moellons de calcaire vif très-irréguliers.

On a réagi contre la tendance des maçons à araser sans cesse leur ouvrage, en garnissant de débris les vides entre les pointes hérissées des gros moellons, afin de poser l'assise suivante sur un lit uniformément horizontal. Cette pratique, admissible pour des maçonneries qui n'ont à supporter que des charges verticales, était vicieuse pour des massifs qui doivent résister à des infiltrations tendant à les traverser et à des poussées souvent très-inclinées. On a fait poser les moellons à la demande des vides irréguliers, de manière à faire liaison dans tous les sens et à allonger le chemin à suivre par les eaux en supposant qu'elles pussent traverser les mortiers. La consommation de mortier a atteint $0^{m},45$ par mètre cube de maçonnerie ainsi exécutée.

Les maçonneries ont été exactement appliquées contre le

terrain dur décapé à vif, nettoyé et bien lavé au moment même de maçonner.

Partout où se montraient des suintements, le mortier de chaux du Theil était remplacé par du mortier de ciment sur 50 centimètres environ d'épaisseur, pour éviter le délavage et l'infiltration des eaux avant le durcissement.

En outre, on réservait des voies à l'eau par des drains ménagés entre la maçonnerie et le sol; ces drains convergeaient en patte d'oie vers un collecteur débouchant à l'air libre par une barbacane ou un puisard; au besoin ce puisard était maintenu à sec de manière à préserver les maçonneries de toute sous-pression avant la prise complète des mortiers. Ces issues n'ont été tamponnées qu'au moment d'introduire les eaux de la mer dans les batardeaux.

Au-dessus du terrain dur, sur la hauteur des bajoyers contre laquelle devaient être rapportés des remblais, ils ont été revêtus extérieurement d'un enduit de 2 centimètres d'épaisseur en mortier de ciment, pour les préserver de l'action directe des infiltrations.

Enfin, pour arrêter les infiltrations qui pourraient pénétrer dans les maçonneries malgré toutes ces précautions et pour les empêcher d'arriver jusqu'au parement vu, on a établi dans l'épaisseur des bajoyers une cloison en briques tubulaires placées bout à bout, de façon à former une surface drainante qui débouche dans un égout entourant la forme dans la partie inférieure de ses bajoyers. Cette cloison ne diminue pas trop la stabilité des bajoyers pourvu qu'on ait la précaution d'employer des briques de première qualité, mouillées à saturation, et bien exactement appliquées contre le mortier sans air emprisonné. La couche de maçonnerie

entre la cloison et les terres doit avoir au moins 80 centimètres d'épaisseur pour résister aux infiltrations qui, sans cela, arriveraient trop abondantes aux drains et à l'égout, et augmenteraient ainsi les frais d'épuisement.

Grâce à l'observation minutieuse de toutes ces précautions, la forme n° 1 fonctionne de la manière la plus satisfaisante. Ses bajoyers ne présentent d'autre humidité que celle qui pénètre leur parement vu, quand la forme est pleine, et qui en est exprimée après l'épuisement lorsque ce parement se trouve comprimé par les poussées venant de l'extérieur.

Pour une surface totale de parements vus qui atteint 6,000 mètres carrés, la totalité des infiltrations atteint à peine 183 millilitres par seconde.

Les formes 2, 3 et 4 présentent des dispositions analogues, sauf que leur tête amont est formée par un hémicycle en maçonnerie. Le tableau ci-contre résume leurs principales dimensions.

Les sept formes complémentaires seront exécutées au fur et à mesure que les besoins du commerce les rendront nécessaires. Pour faciliter ce travail on a déjà réservé, dans le mur de quai sud, l'entrée de deux de ces formes comprenant la rainure extérieure du bateau-porte. Il suffira donc, lorsqu'on voudra construire ces formes, d'échouer le bateau-porte dans cette rainure pour avoir un batardeau derrière lequel on pourra aussitôt épuiser et exécuter tous les travaux nécessaires.

Sur les points où il restera de l'espace disponible en prolongement des formes, on se propose de les terminer à l'amont par un simple mur transversal, moins agréable à l'œil qu'un hémicycle, mais moins coûteux et plus facile à dé-

molir si plus tard de nouveaux allongements des navires venaient à exiger l'allongement des formes.

ÉLÉMENTS CONSIDÉRÉS.		FORME N° 2.	FORMES N°s 3 ET 4.
Longueurs maxima des navires admissibles. . . .		106m,50	86m,50
Longueurs des maçonneries. . . .	Chambre du bateau-porte. .	12m,50	12m,50
	Bajoyers droits.	83 ,72	66 ,99
	Rayon de l'hémicycle.	13 ,78	10 ,51
TOTAL entre les arêtes du couronnement. . .		110 ,00	90 ,00
Épaisseur de l'hémicycle et empatements		3 ,41	4 ,06
LONGUEUR TOTALE des fondations.		113 ,41	94 ,06
Largeurs au radier.	Chambre du bateau-porte.	13m,435	10m,44
	Entre bajoyers.	11 ,60	8 ,40
Largeurs au couronnement. . .	Chambre du bateau-porte.	22 ,02	16 ,60
	Entre bajoyers.	25 ,56	19 ,02
Fruits des bajoyers.	Chambre du bateau-porte.	0m,754 et 0m, 00	0 ,342
	Forme proprement dite avec quatre banquettes.	0m,05	0 ,05
Profondeurs du radier.	Chambre du bateau-porte.	— 6 ,60	— 6 ,60
	Forme proprement dite, aval.	— 7 ,00	— 7 ,00
	Forme proprement dite, amont.	— 6, 00	— 6 ,265

Au lieu de partager les bajoyers du bateau-porte en deux étages, de fruits différents, comme dans la forme n° 2, on leur donnera sur toute la hauteur un même fruit aussi grand que possible comme dans la forme n° 1, ce qui diminue la hauteur dont il faut relever le bateau-porte pour le dégager des rainures en pierre.

Contre chaque forme se trouve un puisard dont une vanne

ferme l'entrée quand la forme est pleine d'eau. Lorsque la vanne est levée, les eaux des rigoles d'égouttement du radier et celles des égouts de la cloison drainante tombent dans le puisard, et de là dans un égout qui les conduit aux machines d'épuisement installées à l'angle nord-est du bassin central.

Cet égout se compose de deux branches. L'une, à $15^m,285$ en arrière de l'arête du quai nord, reçoit les eaux des formes 1 et 2, et plus tard recevra aussi celles de la forme supplémentaire à construire derrière ce quai; l'autre, à $15^m,285$ en arrière du quai sud, reçoit les eaux des formes sud. A l'angle sud-est du bassin central cette conduite se retourne à angle droit pour longer le quai est à $6^m,85$ en avant de son arête jusqu'à la machinerie.

Les branches nord et sud sont formées de tuyaux en fonte, de 1 mètre de diamètre, qui ont été posés dans une galerie souterraine; les intervalles entre le tuyau et les parois de la galerie ont été bourrés de maçonnerie. La branche est est formée par un aqueduc en briques de 1 mètre de largeur et de $1^m,30$ de hauteur sous la clef, qui a été construit au fond d'une tranchée et ensuite recouvert de remblais jusqu'au niveau du fond du bassin; on peut y descendre par deux puits situés en arrière du quai voisin.

Ces égouts débouchent dans un puisard fondé à la cote $-12^m,25$, qui est divisé en deux étages par un solide plancher en fonte sur lequel sont fixées les pompes. Ces dernières, au nombre de quatre, sont des pompes centrifuges actionnées chacune par une machine à vapeur indépendante.

La vapeur est produite dans six chaudières horizontales de $6^m,12$ de long sur $2^m,26$ de haut. Chacune renferme 170 tubes pendentifs, démontables, dans lesquels l'eau cir-

cule autour d'un diaphragme plan mobile. Elles présentent une surface de chauffe totale d'environ 280 mètres carrés.

Chaque machine est de la force de 160 chevaux, à haute pression, à condensation, avec un tiroir de détente réglé par une coulisse Stephenson. Deux grandes courroies, qui embrassent les volants de la machine, transmettent le mouvement à des poulies calées sur l'arbre de la pompe, placée au-dessous.

Le diamètre des poulies est le quart de celui des volants. Elles font de 240 à 360 tours par minute. Le disque à aubes a 95 centimètres de diamètre; les tuyaux d'aspiration et de refoulement ont 56 centimètres de diamètre. L'axe des pompes est établi à la cote — $5^{m},50$.

Les pompes rotatives ont été préférées aux pompes ordinaires à piston à cause de la simplicité plus grande de leurs organes et de la diminution des frais de premier établissement. Cette considération, secondaire pour des machines à marche continue, est importante pour celles des bassins de radoub qui ne seront guère allumées que le dixième du temps. En outre, pour une même vitesse de marche, les pompes rotatives débitent d'autant moins d'eau que la hauteur d'élévation est plus grande; cette propriété, que ne possèdent pas les autres systèmes, diminue la différence entre les travaux utiles qui correspondent à une même vitesse lorsque la hauteur d'élévation augmente; c'est un avantage sérieux pour les bassins de radoub où la hauteur d'élévation croît de 50 centimètres à $8^{m},50$ entre le commencement et la fin d'une opération.

Enfin les pompes des bassins de radoub sont munies d'une garniture, inventée par M. Barret, pour empêcher toute rentrée d'eau entre les disques et l'enveloppe de la pompe.

Ces rentrées, qui se produisent après un court service par l'usure des surfaces frottantes, diminuent le rendement jusqu'au point de l'annuler si l'on ne renouvelle ces surfaces. La nouvelle garniture a augmenté d'environ 30 p. o/o le rendement des pompes fonctionnant depuis trois mois dans les anciens bassins de radoub de Marseille.

La machinerie que nous venons de décrire est capable d'élever 100,000 mètres cubes d'eau à une hauteur moyenne de $4^{m},50$ par jour de dix heures, ce qui permettra au besoin d'épuiser huit formes dans une journée. Cette puissance énorme a pour objet d'abréger autant que possible la durée des épuisements, ce qui importe beaucoup, maintenant que les navires se réparent si rapidement, grâce à l'emploi des peintures siccatives pour leur carène. On arrive à faire aujourd'hui deux cent quarante opérations par an dans une forme, tandis qu'auparavant on n'en faisait guère que cent vingt.

La voie de fer qui longe les ports franchit la passe d'entrée des bassins de radoub, dont la largeur est de 28 mètres, sur un pont tournant en fer d'une seule travée de 62 mètres de longueur totale. Outre la voie ferrée, ce pont présente une voie charretière et une passerelle extérieure pour les piétons. Sa largeur totale est de $15^{m},94$.

Le tablier mobile, dont le poids atteint 700 tonneaux, effectue sa rotation sur deux galets de culasse et sur un pivot central soulevé par de l'eau comprimée à 270 atmosphères.

Ce pivot repose sur une tour en maçonnerie qui a été construite à sec dans l'intérieur du batardeau de la passe. Cette tour a $9^{m},50$ de diamètre à son couronnement, qui est formé de pierres de taille de fort appareil; elle présente deux contre-forts pour recevoir, quand le pont est en ser-

vice, les extrémités du chevêtre dont il va être parlé. Elle s'appuie sur un empatement à peu près carré de $12^m,50$ de côté qui est assis sur l'argile dure à la cote $-8^m,30$. Le rail circulaire des galets de culasse, ainsi que les socles de divers mécanismes moteurs, reposent sur des massifs en béton fondés eux-mêmes sur des pieux qui descendent jusqu'à 10 mètres au-dessous du terre-plein.

La charpente du tablier est formée d'entretoises espacées de $1^m,30$, portées par trois fermes principales qui ont $3^m,75$ de hauteur au droit du pivot, et $1^m,50$ à leurs extrémités. L'âme de ces fermes est simple et en treillis, sauf la partie au droit du pivot qui est pleine. Un fort chevêtre transversal reporte leur poids sur le pivot de rotation.

Ce pivot est le plongeur en fonte d'une presse hydraulique verticale de 58 centimètres de diamètre. Pour le cylindre de la presse, on a rejeté la fonte comme présentant une résistance trop incertaine sous une grande épaisseur; il est en fer forgé, de 16 centimètres d'épaisseur. Son fond est mobile et d'un diamètre un peu plus faible que celui du plongeur, afin que le cylindre ne tende pas à suivre le plongeur dans sa montée. L'étanchéité de la presse est assurée en haut et en bas par deux garnitures en rondelles de caoutchouc serrées par l'eau sous pression. La presse est maintenue dans une position invariable par une chaise en fonte à large base dans laquelle elle est assujettie au moyen de clavettes en fer forgé.

Les accumulateurs de la compagnie des Docks fournissent de l'eau à cinquante-deux atmosphères de pression. On n'aurait pu soulever le pont directement au moyen de cette eau sans donner à la presse un diamètre excessif. On y a obvié en faisant agir l'eau des docks sur une petite machine rotative à trois cy-

lindres donnant le mouvement à deux pompes qui compriment l'eau à deux cent soixante-dix atmosphères. Si l'eau des docks venait à manquer les pompes seraient mues à bras d'homme.

En service le pont s'appuie : à l'extrémité de la volée, sur trois rouleaux en fer forgé qui permettent sa dilatation ; à l'extrémité de la culasse, sur trois coins de calage qu'on manœuvre simultanément au moyen d'une barre qui les réunit ; enfin, dans sa partie centrale, sur le chevêtre posé lui-même sur les sommiers en pierre de taille.

L'ouverture du pont comprend trois périodes successives : 1° on décale les coins de la culasse à l'aide d'une petite presse spéciale de façon à faire porter les galets de roulement sur leur rail circulaire ; 2° on introduit de l'eau comprimée sous le pivot jusqu'à ce que la volée soit entièrement dégagée de son appui, ce qui exige une montée du plongeur d'environ 15 centimètres ; 3° on produit la rotation au moyen d'une presse attelée à l'extrémité d'une chaîne qui embrasse une couronne fixée sous le tablier. Les mêmes manœuvres se répètent en sens inverse pour la fermeture.

Le poids des matériaux qui entrent dans la construction du pont et de son mécanisme se décompose ainsi :

Bois	100 tonnes.
Fers	320 —
Fonte 1re fusion	200 —
—— 2e fusion	100 —
Divers	30 —
Total	750 tonnes.

On voit par là que ce pont mobile est un des plus considérables qui aient été construits.

Le tableau ci-après résume en chiffres ronds les quan-

tités et les dépenses relatives aux travaux des bassins de radoub, leur répartition approximative entre les divers ouvrages exécutés ou préparés pour l'avenir, enfin quelques prix moyens qui ressortent de ces dépenses.

Si l'on rapproche les résultats relatifs aux deux types extrêmes, on remarque qu'en passant des petites formes à la grande, le prix de revient par mètre courant de longueur utile augmente depuis 5,200 francs jusqu'à 8,180 francs, tandis que le prix par mètre cube de capacité (en eaux moyennes) diminue depuis 56f,60 jusqu'à 52f,30.

Les dépenses, dont le total atteint 8 millions, ont été supportées, savoir : 3 millions par l'État et 5 millions par la compagnie des Docks-Entrepôts de Marseille, à qui l'exploitation des formes sèches, construites et à construire, est concédée pour quatre-vingt-dix-neuf ans.

Chaux du Theil. — Dans les travaux exécutés au port de Marseille depuis 1840 jusqu'à ce jour, on n'a employé, pour la confection des mortiers, que de la chaux hydraulique provenant de la calcination des calcaires du Theil situés sur les bords du Rhône, dans le département de l'Ardèche. L'excellence des résultats obtenus avec cette chaux, principalement au point de vue de sa conservation à l'eau de mer, en a fait généraliser l'emploi dans un grand nombre de ports de la Méditerranée. On peut citer les ports de l'Algérie; Port-Saïd, à l'origine du canal de Suez, où plusieurs kilomètres de digues ont été construits au moyen de blocs artificiels exclusivement composés de sable et de chaux hydraulique; le bassin de radoub de Suez; le port de Trieste, actuellement en cours d'exécution; enfin, divers travaux en Turquie.

INDICATION DES OUVRAGES.	QUANTITÉS TOTALES.	ENSEMBLE.	PASSE ET PONT.	BASSIN CENTRAL [1].
I. Travaux locaux.				
Déblais à sec	403,000^{mc}	2,006,850^{f}	70,080^{f}	1,393,000^{f}
Maçonneries	97,000	1,861,610	119,460	285,250
Pont, machineries, bateaux-portes	2,000^{t}	1,039,300	360,000	//
Bois, fers, divers	//	144,940	19,730	15,230
Totaux	.....	5,052,700	569.270	1,693,480
II. Travaux généraux.				
Batardeaux. Déblais sous-marins	22,000^{mc}	220,040		
Batardeaux. Maçonneries	25,800	901,200		
Batardeaux. Épuisements et divers	//	236,300		
Totaux	.....	1,357,540	106,000	320,000
Abords. Déblais à sec	128,000^{mc}	294,580		
Abords. Maçonneries	6,200	114,200		
Abords. Empierrements et divers.	//	106,570		
Totaux	.....	515,350	41,000	121,000
Frais généraux	.....	680,810	63,730	215,520
III. Indemnités de terrain.	.....	393,600	//	300,000
Totaux généraux. Déblais	553,000^{mc}	8,000,000	780,000	2,650,000
Totaux généraux. Maçonneries	129,000			
Totaux généraux. Ferronneries	2,000			
Totaux généraux. Bois	//			

Résultats.

Périmètre du bassin, longueurs utiles des formes	915^{m}
Surfaces d'eau rapportées aux eaux moyennes cote + 0^{m},40	47,610
Cubes d'eau rapportés aux eaux moyennes cote + 0^{m},40	400,000
Prix de revient. par mètre courant de périmètre ou de longueur utile	2,900^{f} 0
Prix de revient. par mètre carré de surface d'eau	56 0
Prix de revient. par mètre cube de capacité	6 6

DÉPENSES.					OBSERVATIONS.
FORME N° 1.	FORME N° 2.	FORMES N°s 3 ET 4.	OUVRAGES ULTÉRIEURS.	MACHINERIE (2).	
157,430f	120,360f	119,180f	96,800f	50,000f	(1) Non compris les grues hydrauliques et le trépied oscillant à vapeur.
432,930	332,500	468,340	54,090	169,040	
176,000	90,000	127,560	//	285,740	
16,000	13,230	20,750	//	60,000	(2) Y compris les bureaux et bâtiments d'exploitation.
782,360	556,090	735,830	150,890	564,780	
146,000	105,000	140,000	435,540	105,000	Les sommes inscrites dans ce tableau sont celles payées effectivement et ne comprennent pas les intérêts jusqu'au jour de la mise en exploitation.
56,000	40,000	53,000	163,350	41,000	
95,640	68,910	91,170	76,620	69,220	
//	//	//	93,600	//	
1,080,000	770,000	1,020,000	920,000	780,000	
132m	106m,50	86m,50	//	//	
3,177	2,149 ,00	1,480 ,00	//	//	
20,624	14,457 ,00	9,005 ,00	//	//	
8,120f 0	7,230f 0	5,900f 0	//	//	
340 0	360 0	345 0	//	//	
52 3	53 3	56 6	//	//	

Les grands travaux du port de Marseille datent principalement de 1844. Depuis cette époque jusqu'en 1857, ils ont été successivement dirigés par MM. les ingénieurs en chef Toussaint, Bergis, Montet et de Montricher et par M. Pascal, ingénieur ordinaire. De 1857 jusqu'à ce jour, ils ont été dirigés par M. Pascal, ingénieur en chef, et MM. André, Bernard et Denamiel, ingénieurs ordinaires.

Parmi les conducteurs qui ont secondé les ingénieurs, on doit citer : MM. Rullier, Lévens, Coignard, Sébillotte, Pissère et Bénézeth.

Les entrepreneurs ont été MM. Dussaud frères, Barthelon, Rabattu, Vaccaro et Michel (Désiré).

Les bateaux-portes, les machines d'épuisement et le pont tournant ont été projetés par M. Barret, ingénieur de la compagnie des Docks, et exécutés par la Société nouvelle des Forges et Chantiers de la Méditerranée, sous la direction de cet ingénieur.

XXI.

CANAL SAINT-LOUIS.

AMÉLIORATION DES EMBOUCHURES DU RHÔNE.

Dessins à des échelles variant de $0^m,00002$ à $0^m,02$.
Un modèle à l'échelle de $0^m,05$.

Exposé historique. — Tous les essais tentés pour abaisser la barre du Rhône à son embouchure dans la Méditerranée ayant échoué, on s'est décidé à ouvrir une communication directe entre le golfe de Foz et la partie profonde du fleuve en amont de la barre, au moyen d'un canal qui est désigné sous le nom de *canal Saint-Louis*.

La première pensée de ce projet n'est pas neuve : on l'attribue généralement à Marius.

Plutarque raconte[1] que Marius, campé sur le bord du Rhône, 103 ans avant l'ère chrétienne, fit creuser par ses soldats « un large canal dans lequel il détourna une grande « partie du fleuve, et qu'il conduisit jusqu'à un endroit du « rivage sûr et commode. »

Strabon écrivait, au premier siècle de notre ère, que

[1] Vie de Marius.

« Marius voyant que les bouches (du Rhône) étaient obs-« truées par le limon, et que l'entrée en était devenue diffi-« cile, creusa un nouveau lit pour recevoir la plus grande « partie du fleuve. »

Ce qu'on appelle généralement le canal de Marius n'était au fond qu'une dérivation du fleuve, une embouchure artificielle, mieux dirigée et plus accessible que les bouches naturelles. Elle eut le sort de celles-ci : il ne pouvait pas en être autrement.

C'est à Vauban que revient l'idée d'ouvrir un canal pour permettre aux navires d'entrer dans le Rhône ou d'en sortir. Vers 1686, Louis XIV envoya le maréchal de Vauban pour visiter le canal du Midi et le bas Rhône. Le cours du Rhône près de l'embouchure était alors très-sinueux, très-long, d'un parcours difficile; les passes étaient impraticables. Vauban déclara les embouchures incorrigibles et se prononça pour l'ouverture d'un canal qui irait d'Arles au Port-de-Bouc.

Dès la fin du XVIIe siècle, le problème des embouchures était donc posé entre l'endiguement et l'exécution d'un canal latéral : il semblait qu'il dût être résolu dans le sens des idées de Vauban; mais un événement imprévu fixa l'attention sur l'amélioration directe de l'embouchure.

En 1700, le Rhône ne suivait pas son cours d'aujourd'hui. A 18 kilomètres environ en amont de l'embouchure actuelle, il se jetait à droite dans un bras très-sinueux, nommé *Bras-de-Fer*, aujourd'hui *le canal du Japon*, qui conduisait toutes ses eaux à la mer par un trajet de 26 kilomètres.

Premiers travaux d'endiguement. — En 1712, la prise d'eau qui commandait le canal des Lannes (canal creusé quelques années auparavant pour conduire les eaux du Rhône dans une suite d'étangs salés) fut emportée; le Rhône, trouvant un lit tout fait qui le conduisait droit à la mer, s'y précipita, abandonnant totalement le lit de Bras-de-Fer, qui offrait un parcours plus long de 9 kilomètres pour atteindre la mer.

Le nouveau cours du fleuve était sensiblement rectiligne et régulier, le chenal assez profond : les bateaux y passaient à pleine charge. On s'occupa immédiatement de l'approprier aux besoins de la navigation.

On pensait alors que le changement survenu dans le cours du Rhône tournerait à l'avantage du commerce : il n'en fut rien.

Les profondeurs que l'on trouvait tout d'abord sur la nouvelle passe décrurent rapidement; au fur et à mesure que la barre s'avançait dans la mer, le chenal devenait de plus en plus sinueux, la passe de plus en plus instable.

En 1802, Bonaparte fit commencer le canal d'Arles à Bouc : c'était la réalisation de l'idée de Vauban.

Les travaux furent conduits lentement; ils étaient à peine ébauchés quand survinrent les événements de 1814; ils furent totalement interrompus. La Restauration les reprit en 1822, et l'on donna au canal une nouvelle utilité en l'appliquant au desséchement des marais d'Arles.

Le canal d'Arles à Bouc fut livré à la navigation en 1834. Il a un parcours de 47 kilomètres. Mais son tirant d'eau n'est que de 2 mètres; sa largeur au plafond, de 12 mètres environ; les écluses et les ponts n'offrent qu'un débouché

de 8 mètres de largeur; les berges sont incomplétement défendues, et le canal, dans lequel ne peuvent circuler que de petits navires, très-légers, est totalement fermé à la navigation à vapeur. Il en résulte que ce canal, qui a rendu d'incontestables services en assainissant le territoire d'Arles, et en livrant à la culture une étendue de 3,500 hectares de marais, ne satisfait qu'imparfaitement aux besoins de la navigation, pour laquelle il avait été spécialement créé.

Travaux d'endiguement des embouchures, exécutés de 1852 à 1857. — En 1849, le Conseil général des ponts et chaussées émit l'avis qu'il y avait lieu de se borner à barrer tous les bras accessoires du Rhône, tous les graus, à l'exception de celui de l'est; et trois ans plus tard, un décret du 15 janvier 1852 affectait une somme de 1,500,000 francs à l'amélioration des embouchures.

Les travaux, commencés en 1852, ne furent terminés que cinq ans plus tard, en 1857. Leur exécution présenta de très-sérieuses difficultés. On travaillait, en effet, sur les plages extrêmes du delta, dans une contrée absolument déserte et inculte, sans moyens de communication réguliers avec Arles, centre de population le plus voisin et qui est reculé de douze lieues dans les terres. Cette région est, de plus, soumise à des fièvres qui en rendent l'habitation dangereuse, et imposent beaucoup de ménagements et de précautions à ceux qui sont forcés d'y séjourner.

Les dépenses effectuées pour l'exécution des travaux d'amélioration, de 1852 à 1857, se sont élevées, non compris les dépenses du personnel, au chiffre de 1,375,348 fr.

La profondeur sur la passe de la barre paraissait aug-

menter au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'endiguement.

Après la crue extraordinaire de 1856, on trouva sur la passe de la barre jusqu'à $4^{m},20$. Mais cette profondeur ne se maintint pas; on ne tarda pas à observer des profondeurs absolument comparables à celles que l'on trouvait autrefois.

L'insuccès des travaux d'amélioration des embouchures était bien constaté; on se décida enfin à revenir à la solution d'un canal latéral.

Cette décision fut prise en 1863.

Canal Saint-Louis. — Le canal Saint-Louis prend naissance à 600 mètres environ en aval de la Tour-Saint-Louis; le canal proprement dit est en ligne droite, dirigé sensiblement de l'ouest à l'est.

Sa longueur est de 3,300 mètres : il a 30 mètres de largeur au plafond, 63 mètres au niveau des basses mers, et 6 mètres de tirant d'eau minimum [1].

Les berges sont défendues par des perrés maçonnés qui s'élèvent à $1^{m},30$ au-dessus des basses mers, soit à la cote $1^{m},30$ [2], dans le canal proprement dit, et à $1^{m},50$ à la traversée du bassin.

Les chemins de halage, de 12 mètres de largeur, sont établis à la cote 2 mètres; les cavaliers que l'on a formés

[1] Le profil du canal Saint-Louis se superpose à peu près à celui du canal de Suez. Si l'on suppose les talus inférieurs prolongés avec leur pente de 2 sur 1, jusqu'à la profondeur de 8 mètres, on arrive à une largeur au plafond de 22 mètres; c'est la largeur du canal de Suez.

[2] Toutes les cotes sont comptées par rapport à un plan inférieur, qui n'est autre que le niveau des basses mers.

de chaque côté sont élevés à $2^m,50$ au moins, de manière à se trouver toujours au-dessus des plus hautes eaux du Rhône, et à défendre le canal en cas d'inondation du fleuve.

Dans les perrés, on a construit des escaliers de 200 mètres en 200 mètres; et l'on a établi au même espacement des bornes en pierre.

Le canal débouche, à la mer, dans un avant-port formé par deux jetées : l'une, celle du sud, parallèle à l'axe du canal, et située à $48^m,25$ de cet axe, s'étend jusqu'aux profondeurs naturelles de $6^m,50$: sa longueur est de $1,746^m,20$; elle a 2 mètres de largeur en couronne à la cote $2^m,50$, et un bombement de 20 centimètres; l'autre jetée, au nord, est enracinée dans la côte sur un point qui est situé à 1,350 mètres de distance du canal : elle n'est exécutée que jusqu'aux fonds naturels de $3^m,25$. Sa longueur est de 500 mètres; elle ne s'élève qu'à $1^m,25$ au-dessus des basses mers; sa largeur en couronne est de 4 mètres. Sa direction converge vers le musoir qui termine la jetée sud, et cette convergence a été déterminée de telle sorte que si plus tard on prolongeait les deux jetées en ligne droite jusqu'aux fonds naturels de $7^m,50$, on aurait encore entre les deux musoirs une passe de 200 mètres.

A la traversée de la plage, à 12 mètres au nord de l'arête supérieure des berges du canal, on a construit une petite jetée destinée à empêcher les sables que l'agitation de la mer déplace sur la plage de venir dans le canal. Cette jetée a été construite jusqu'aux fonds de $1^m,50$; elle a 200 mètres de longueur.

Sur la côte très-basse, qui sépare de la mer les nombreux

étangs situés au nord du canal, on a construit une digue en terre qui relie la jetée nord aux cavaliers du canal. Cette digue désignée sous le nom de *digue de Brûle-Tabac* est destinée à empêcher les eaux des étangs qui longent le canal de se déverser directement dans l'avant-port, où elles déposeraient les matières qu'elles charrient : matières qui se détachent des fonds vaseux des étangs sous l'influence de l'agitation produite par les vents, ou que les eaux elles-mêmes arrachent à la plage lorsqu'elles parviennent à se frayer un passage, un grau, entre l'étang et la mer.

Dans le cas où une chaussée de la rive gauche du Rhône viendrait à se rompre, cette même digue aurait pour effet de rejeter les eaux d'inondation en dehors de l'avant-port.

Le canal est continué dans l'avant-port par un chenal qui offre le même tirant d'eau, mais qui a 60 mètres de largeur au plafond; vers le large, à partir des profondeurs de $4^{m},15$ jusqu'aux fonds naturels de 6 mètres, cette largeur est portée à 200 mètres.

Sur le musoir de la jetée sud, on a établi un fanal pour signaler l'entrée du canal Saint-Louis. Le feu, fixe, blanc, de quatrième ordre, est muni d'un écran dont l'amplitude est telle que les atterrissements de l'embouchure du grand Rhône ne sont pas éclairés; les navigateurs ont ainsi un moyen d'éviter pendant la nuit toute méprise.

Le foyer de l'appareil est à $13^{m},20$ au-dessus des hautes mers, soit à $14^{m},40$ au-dessus des basses mers, et à $11^{m},70$ au-dessus de la jetée.

La construction qui supporte le feu a été conçue et exécutée de manière à être aperçue à une grande distance pendant le jour. On doit élever sur la côte un amer très-apparent;

l'alignement de ces deux constructions indiquera la limite orientale des atterrissements de l'embouchure.

La pente du Rhône, de la Tour-Saint-Louis à la mer, est rachetée par une écluse à sas.

Cet ouvrage doit livrer passage à la fois aux navires de mer qui voudraient entrer dans le Rhône, et aux bateaux du Rhône qui auraient à venir dans le canal. Ses dimensions ont été calculées en conséquence, savoir :

22 mètres de largeur entre bajoyers;

$7^{m},50$ de tirant d'eau;

$184^{m},50$ de longueur totale;

160 mètres de longueur utile (les bateaux à vapeur du Rhône ont de 120 à 140 mètres de longueur; deux d'entre eux, *l'Océan* et *la Méditerranée*, avaient tout d'abord 155 et 154 mètres de longueur).

Le tirant d'eau du canal n'est que de 6 mètres; dans le Rhône, à Saint-Louis, on trouve des profondeurs de $7^{m},50$. On a pensé que dans l'avenir on pourrait être conduit à approfondir le canal à $7^{m},50$, et l'on a cru devoir donner du premier coup $7^{m},50$ à l'écluse, afin d'éviter toute reconstruction ultérieure, qui serait extrêmement coûteuse.

L'écluse est placée à l'entrée du canal, du côté du Rhône; la mer pénètre librement dans le canal et il n'y entre, du fleuve, que l'eau qu'on introduit à chaque éclusée, c'est-à-dire des quantités insignifiantes. Il n'est donc pas à craindre que le Rhône forme des atterrissements dans le canal.

L'écluse s'ouvre dans le Rhône par un chenal de 60 mètres de largeur et de 115 mètres de longueur. Elle est inclinée vers l'aval du fleuve; l'angle compris entre l'axe de l'écluse et l'axe du Rhône est de $14^{\circ}\,2'\,10''$.

Ce mode de raccordement, imité de ce qui a été fait sur le Rhône à l'écluse d'embouchure du canal de Beaucaire, a été adopté : 1° pour rendre possibles, malgré les vents et malgré les courants, les manœuvres des navires qui veulent entrer dans l'écluse ou en sortir; 2° pour diminuer autant que possible l'importance des dépôts que le Rhône formera à l'entrée de l'écluse.

Pour rendre les manœuvres possibles et faciles, on a exécuté dans le fleuve, le long de la rive gauche, en amont du musoir du chenal, un mur de quai de 145 mètres de longueur.

Le chenal est bordé de murs de quai, le long desquels pourront accoster tous les navires qui franchiront l'écluse.

L'écluse est pourvue de deux paires de portes busquées en tôle : la flèche du busc est d'un sixième de la largeur de l'écluse.

Le radier du sas est dressé suivant un arc de cercle de 22 mètres de corde pour 2 mètres de flèche : le radier plan des chambres des portes est établi à 8 mètres en contre-bas du niveau des basses mers, soit à 50 centimètres en contre-bas du point le plus bas du radier du sas. Les enclaves ont $12^{m},60$ de longueur et 85 centimètres de profondeur.

Dans l'épaisseur des bajoyers des têtes, sont ménagés des aqueducs pour le remplissage et pour la vidange du sas.

Ces aqueducs ont $1^{m},25$ de largeur et 2 mètres de hauteur à l'ouverture.

Le couronnement de l'écluse et des quais (du chenal et du Rhône) est établi à $2^{m},50$ en contre-haut des basses mers, soit à 62 centimètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux du Rhône et de la mer.

La chute, rachetée par l'écluse, est en moyenne de

50 centimètres; elle peut être au plus de $1^m,88$, c'est la hauteur maximum des eaux du Rhône au-dessus de la basse mer; elle est souvent nulle et parfois elle est négative. Au premier abord ce fait paraît assez singulier, mais il s'explique aisément.

Les marées sont peu sensibles sur la Méditerranée, mais quand les vents soufflent avec violence, ce qui arrive fréquemment pour les vents de S. E. et de N. O., le niveau de la mer oscille d'une manière continue; il s'élève de 20 à 60 centimètres environ en deux ou trois minutes, pour redescendre et remonter ensuite. Ces mouvements se transmettent aisément dans le canal, dont la direction est rectiligne, la section uniforme et la profondeur assez grande. Dans le Rhône, au contraire, ils se propagent très-imparfaitement. L'amplitude de ces oscillations étant comparable, supérieure même parfois à la chute maximum qui existe pour le même instant du Rhône à la mer, il n'y a rien d'étonnant à ce que les eaux de la mer à l'écluse soient plus hautes que les eaux du Rhône.

Dans ce cas, les portes busquées s'ouvrent d'elles-mêmes; elles se referment lorsque le niveau baisse en aval.

Entre l'écluse et le canal, on a creusé un bassin de 12 hectares de superficie, avec un tirant d'eau de 6 mètres en basses mers. C'est un bassin de virement pour les navires qui entrent dans l'écluse ou qui en sortent pour entrer dans le canal; c'est aussi un bassin d'opérations où les navires pourront décharger et prendre des marchandises.

Il présentera un développement de murs de quai verticaux de 1,100 mètres; 850 mètres seulement sont aujourd'hui exécutés.

Le couronnement de ces murs est établi horizontalement à la cote $2^{m},50$.

Les terre-pleins de ces quais, exécutés avec les terres provenant du creusement du canal et du bassin, sont arasés à la même hauteur moyenne.

Le canal Saint-Louis, tel qu'il a été exécuté, comporte donc non-seulement un canal latéral à l'embouchure, mais encore un véritable port. La création d'un port à Saint-Louis était indispensable du moment que l'on admettait l'utilité d'un canal maritime à grande section. Entre Arles et Saint-Louis, les travaux d'amélioration entrepris sur le Rhône ne pourront jamais donner un tirant d'eau de plus de 4 mètres à cause des bancs de poudingue très-dur que l'on rencontre en certains points du cours du fleuve. L'accès du port d'Arles est donc interdit aux navires calant plus de 4 mètres d'eau; ces navires ne pouvant se mettre en rapport avec les bateaux du fleuve qu'en un point du bas Rhône, on a choisi Saint-Louis.

Au nord du canal et du bassin s'étendent des étangs et des terrains marécageux; en temps de crue le Rhône les envahit aisément, et les eaux s'écoulent à la mer au nord de l'avant-port; comme la largeur de ces terrains n'est guère que de 4 kilomètres, il est à craindre que par une grande crue le fleuve se fraye un nouveau lit à travers ces terrains pour venir déboucher dans le voisinage de l'avant-port. Pour dissiper tout danger, il est nécessaire de relier par une digue insubmersible les terre-pleins du bassin à la chaussée du Rhône, qui s'arrête à 4 kilomètres en amont de Saint-Louis.

Les travaux de construction de cette digue ont été dé-

clarés d'utilité publique par décret du 25 novembre 1872; ils seront prochainement exécutés.

Exécution des travaux. — Les travaux du canal Saint-Louis ont fait l'objet de cinq entreprises distinctes :

1° Entreprise du creusement du canal, comprenant : l'exécution des déblais; la construction des jetées de l'avant-port; la construction des perrés de défense du canal et des murs de quai du bassin;

2° Entreprise de l'écluse, comprenant la construction de l'écluse et des quais du chenal et du Rhône;

3° Entreprise spéciale de charpente pour la construction de l'encaissement des quais du chenal et du Rhône;

4° Entreprise pour la construction et la mise en place des portes de l'écluse;

5° Entreprise pour la construction du fanal de la jetée sud.

Tous les épuisements, le battage des pieux de fondation de l'écluse, les dragages dans les encaissements des quais, le pilonnage des remblais, les gazonnements, enfin la construction de la digue de Brûle-Tabac dans l'avant-port, ont été exécutés en régie.

Creusement du canal. — Les travaux les plus importants de l'entreprise du creusement du canal étaient sans contredit les terrassements : pour ouvrir le canal Saint-Louis, on n'aura pas exécuté moins de 2,214,000 mètres cubes de déblais à sec, et de 350,000 mètres cubes de dragages.

Nature des terrains. — Le canal Saint-Louis est ouvert

en entier dans les terrains d'alluvions du Rhône. Physiquement, ces terrains ont une composition très-simple, très-uniforme; ce sont des mélanges de sable fin et d'argile, dans des proportions extrêmement variées, qui sont disposés en couches sensiblement horizontales. L'épaisseur de ces couches est très-variable : tantôt elle est de quelques centimètres seulement; parfois elle atteint 1 mètre; elle est en moyenne de 40 à 60 centimètres. On y trouve des couches de sable pur et des couches d'argile presque compacte : le plus fréquemment le sable très-fin est mélangé à de la vase, et constitue ce qu'on désigne généralement sous le nom très-significatif de sable fluide.

En masse, ces terrains sont peu perméables.

Les terrains au travers desquels le canal a été ouvert ne s'élèvent pas à plus de 90 centimètres au-dessus des basses mers, ils sont en moyenne à $0^{m},60$; ils sont parsemés de marais et d'étangs qui communiquent librement avec la mer; souvent ils sont entièrement recouverts par la mer, dont le niveau s'élève par les gros temps à $1^{m},10$, $1^{m},20$. Cependant le bassin et le canal ont été creusés à sec jusqu'à 6 mètres en contre-bas de la basse mer; la surface totale du plafond à — 6 mètres était de 22 hectares.

Exécution des déblais. — Un batardeau fermait le canal à la mer, un autre isolait le bassin des fouilles de l'écluse; enfin on avait jugé à propos d'établir, au milieu environ de la longueur du canal, un troisième batardeau, afin que, dans le cas où l'un des batardeaux de tête serait emporté, les eaux ne pussent envahir à la fois tous les chantiers.

Épuisements. — L'ensemble du canal et du bassin était donc divisé en deux biefs indépendants; pour chacun de ces biefs on avait établi pour les épuisements des machines distinctes. Un premier centre d'épuisements était installé entre le Rhône et le bassin; un autre sur le batardeau au milieu de la longueur du canal; enfin un troisième à mi-distance entre ce batardeau et la mer. Le centre d'épuisements établi sur le batardeau du milieu du canal était double; il élevait à la fois les eaux de l'un et de l'autre bief. Cette multiplicité des centres d'épuisements était indispensable, parce que le fond du canal et du bassin était horizontal, et aussi parce qu'avec la pente très-faible et les dimensions restreintes des rigoles qui amenaient les eaux aux puisards, les épuisements n'étaient convenablement obtenus qu'à une distance de 800 mètres au plus des machines.

Bien que les eaux n'eussent dans les rigoles d'amenée qu'une vitesse très-faible, elles entraînaient dans les puisards des quantités très-considérables de sables fins.

Dans l'origine, on avait employé de grosses pompes aspirantes du système Letestu, de 45 centimètres de diamètre.

Ces pompes, qui sont en général d'un emploi très-avantageux, ont eu dans ce cas de sérieux inconvénients, résultant de l'usure extraordinaire des garnitures en cuir des pistons.

Les pompes qui ont été définitivement adoptées sortaient des ateliers de MM. Neut et Dumont, constructeurs à Paris.

La hauteur totale à laquelle on élevait les eaux était de 9 mètres : les pompes étaient disposées, autant qu'il était possible, de manière à ne pas aspirer à plus de 5 mètres.

Accidentellement, on a fait aspirer l'une de ces pompes

à $7^{m},50$; la hauteur du refoulement n'était que de 1 mètre environ; elle a encore donné de bons résultats.

Les pompes rotatives étaient mises en mouvement par des locomobiles de 8 à 10 chevaux; chaque pompe avait sa machine, et dans tous les centres d'épuisements on avait installé des appareils doubles, de manière à ne jamais avoir d'interruptions.

Entre les pompes et les machines on avait établi une transmission avec arbre coupé et embrayage, combinée de telle sorte que l'une des machines pouvait actionner l'une quelconque des deux pompes, les deux appareils pouvant d'ailleurs très-facilement être rendus indépendants.

Les appareils d'épuisements étaient installés sur des charpentes établies sur pilotis.

Les puisards étaient formés par une enceinte de pieux et palplanches.

Chaque centre d'épuisements avait son magasin à charbons, et son petit atelier pour les réparations les plus simples.

Les établissements construits dans le canal se trouvant à plus de 2 kilomètres de tout baraquement, on y avait ménagé une chambre pour loger les mécaniciens et les chauffeurs.

Au milieu des chantiers du canal et de l'écluse, on avait installé un atelier central pour les réparations des machines.

L'eau douce était fournie aux chaudières par une machine élévatoire placée sur le bord du Rhône; elles étaient distribuées tout le long du canal par une conduite en fonte de 8 à 6 centimètres de diamètre.

Terrassements. — Les sables vaseux, les argiles plus ou

moins sablonneuses qui constituent les terrains dans lesquels on a ouvert le canal Saint-Louis, n'ont pas généralement une grande consistance quand ils sont imprégnés d'eau ; mais il est difficile de les fouiller, de les transporter. Au contraire, quand ils sont asséchés, ils se débitent très-aisément, sauf toutefois les couches les plus argileuses pour l'attaque desquels il faudrait presque recourir à l'emploi du pic. Sans des épuisements parfaitement organisés, on ne serait pas venu à bout des déblais du canal.

Le canal a 30 mètres de largeur au plafond : les talus de la cuvette s'élèvent sous une inclinaison de 2 sur 1 jusqu'à 2 mètres en contre-bas de la basse mer; à ce niveau on trouve une banquette de $6^{m},50$ de largeur sur laquelle s'appuient les perrés. Ces perrés, inclinés à 45 degrés, ne s'élèvent qu'à $1^{m},30$ en contre-haut de la basse mer, tandis que les chemins de halage sont à 2 mètres : la différence de niveau entre les chemins de halage et le dessus des perrés est rachetée par un talus gazonné incliné à 2 sur 1.

Les terrains s'élevant en moyenne à 60 centimètres au-dessus de la basse mer, on a exécuté en premier lieu tous les terrassements que l'on a pu faire sans épuisements, sur toute la longueur du canal; avec les déblais, on a exécuté de chaque côté les digues qui sont destinées à défendre le canal contre le Rhône, en cas d'inondation.

Au moyen de quelques épuisements opérés à bras d'hommes, les entrepreneurs ont pu approfondir une partie du canal et du bassin jusqu'à la cote — 2 mètres.

On a établi alors, dans les derniers mois de 1866, le centre d'épuisements près du Rhône, et le batardeau qui sépare le canal en deux tronçons.

Les moellons employés pour la construction des perrés provenaient des carrières de Lavéra, sur la côte, près de l'entrée de Port-de-Bouc. Le sable était pris dans les déblais du canal; la chaux provenait des carrières du Theil, des fours de MM. Pavin de Lafarge.

Le mortier était composé de 310 kilogrammes de chaux blutée pour $0^{mc},900$ de sable non tassé.

Il était fabriqué avec de l'eau salée que l'on puisait simplement dans les rigoles d'asséchement du canal.

Murs de quai du bassin. — Les murs de quai étaient le complément des travaux du creusement du bassin; leur exécution devait être conduite de manière à ne pas entraver les terrassements, et avec une activité telle qu'ils fussent terminés en même temps que les autres ouvrages.

Les travaux furent commencés en février 1870.

Les murs de quai, exécutés entièrement en maçonnerie, sont établis à $1^{m},50$ en contre-bas du plafond du bassin, soit à $7^{m},50$ en contre-bas du niveau de la basse mer. Leur fondation consiste simplement en un massif de béton de $1^{m},50$ d'épaisseur, dont la surface supérieure affleure le niveau du plafond du bassin.

Les terrains argilo-sablonneux qui constituent la pointe la plus avancée du delta du Rhône sont très-peu compressibles; comme les liquides, ils transmettent aisément dans tous les sens les pressions auxquelles on les soumet.

Les couches successives dont ils sont formés sont sensiblement horizontales; elles n'offrent pas toutes la même consistance.

Le système de fondation qui présentait le plus de ga-

rantie pour les grosses constructions à établir sur ces terrains consistait à entourer le massif de fondation d'une enceinte continue en pieux jointifs ou en pieux et palplanches, pénétrant à 3 ou 4 mètres en contre-bas du niveau des fondations.

On a appliqué ce mode de fondation aux quais du Rhône et du chenal de l'écluse; on n'a observé, pour ces quais, que des tassements à peine sensibles, tandis que les murs de l'écluse, qui sont établis sur pilotis, se sont abaissés de 35 millimètres.

Pour les murs de quai du bassin, on s'est demandé si l'on ne pourrait pas se dispenser de construire une enceinte. Des tassements de 12 à 15 centimètres dans de pareils murs ne sont point un inconvénient, surtout s'ils se produisent d'une manière uniforme et pendant la construction. Avant d'arrêter les dispositions du projet, on a exécuté, à titre d'essai, une longueur de 15 mètres du mur de quai est du chenal de l'écluse.

Ce mur était entièrement en maçonnerie : établi à la cote — 6 mètres, il s'élevait, comme les murs de quai et l'écluse, jusqu'à $2^{m},50$ en contre-haut du niveau de la basse mer; son parement était incliné au vingtième, sa largeur était de $2^{m},25$ au sommet, de $4^{m},50$ à la base; le parement incliné présentait un redan de 60 centimètres à la cote — 5 mètres; la face postérieure du mur présentait trois redans successifs, sur lesquels on avait établi, avant l'exécution des remblais, des pierrées pour l'écoulement des eaux. Les remblais ont été effectués au fur et à mesure que s'élevaient les maçonneries, et finalement activés de manière à obtenir une charge beaucoup plus forte

que celle sur laquelle on aurait à compter. On avait eu soin de faire déblayer le chenal en avant de ce mur, à la cote — 5 mètres.

Le mur s'est bien comporté; il a subi très-régulièrement un tassement de 91 millimètres, sans déversement : le tassement s'est opéré immédiatement; et, depuis, le mur n'a aucun mouvement.

La pression maximum sur le sol de fondation était de $1^{k},73$ par centimètre carré, la pression minimum de $1^{k},15$.

On adopta le même système de construction pour les murs de quai du bassin.

Le profil du mur a été calculé de manière à obtenir une pression sensiblement uniforme sur le sol de fondation.

Le mur s'élève sur un massif de béton de $1^{m},50$ d'épaisseur et de $5^{m},47$ de largeur : il a $3^{m},97$ de largeur à la base et $1^{m},80$ à $2^{m},30$ de hauteur; son parement présente un fruit d'un dixième jusqu'à $1^{m},70$ en contre-bas de la basse mer, et plus haut un fruit d'un vingtième : le derrière du mur présente des redans de 50 centimètres de largeur. Le béton est en saillie d'un mètre au moins du côté du bassin, et de 50 centimètres en arrière.

Le mur est entièrement en maçonnerie ordinaire de moellons; le parement antérieur au-dessous de la basse mer est seul en moellons piqués : il est surmonté d'une tablette en pierre de taille.

On a exclusivement employé pour le mortier la chaux du Theil (fabrication de MM. de Lafarge); le sable a été pris dans les déblais du canal et du bassin.

Le mortier était composé de 320 kilogrammes de chaux blutée du Theil pour $0^{mc},900$ de sable.

Il était fabriqué avec de l'eau douce dans des tonneaux broyeurs mus les uns par des manéges, les autres par des locomobiles.

Le béton était composé de 57 centimètres de mortier pour 85 centimètres de pierres cassées.

Le béton était toujours coulé à pleine fouille : on le pressait fortement avec des dames en bois, sans le frapper.

On ne commençait les maçonneries que lorsque le béton était coulé sur une grande longueur, et on les arasait à la fois sur toute la longueur d'un mur.

Au fur et à mesure qu'elles s'élevaient, on exécutait les remblais, de manière à charger les murs très-uniformément et le plus possible, afin de provoquer immédiatement les mouvements qui devaient se produire.

Les tassements se sont opérés en général très-uniformément; un seul mouvement brusque et très-important s'est produit dans le mur du quai est : sur une longueur de 100 mètres, le mur s'était avancé en grand, vers l'intérieur du bassin, en se couchant du côté opposé. Ce mouvement était provoqué par un tassement subit de la masse des remblais en argile compacte.

On a soutenu le pied du mur par un prisme d'enrochements, et on a corrigé la difformité de son alignement.

Depuis, ce mur n'a plus subi le moindre mouvement.

Les autres murs ont tassé d'une manière uniforme, en moyenne de 14 centimètres.

Sur les redans du parement postérieur des murs, on avait établi des pierrées pour recueillir les eaux d'infiltration : ces eaux s'écoulaient par des barbacanes ménagées de distance en distance.

En certains points pour lesquels on ne disposait que de remblais argileux, et où le terrain naturel ne présentait pas une bonne consistance, on a établi derrière les murs des voûtes de décharge en pierres sèches, destinées à diviser les remblais et à rompre leur poussée; on élevait des pieds-droits de 90 centimètres de largeur appuyés sur le mur et sur le talus de la fouille, on comblait leurs intervalles avec des terres bien pilonnées, jusqu'à 4 mètres de hauteur; enfin sur ces terres, dont la surface avait été dressée suivant une forme cylindrique convexe, on établissait une voûte en enrochements.

Grâce à ces dispositions et malgré la mauvaise qualité des remblais, on est arrivé à prévenir tout mouvement analogue à celui qui s'était produit au mur du côté ouest.

Les maçonneries n'ont été élevées tout d'abord que jusqu'à 1 mètre environ au-dessus des basses mers; elles ont été terminées lorsque l'eau a été mise dans le bassin.

Travaux de l'avant-port. — Les travaux de l'avant-port se sont exécutés concurremment avec ceux du creusement du canal.

Jetées. — Les jetées sont construites exclusivement en enrochements naturels.

Ces matériaux étaient divisés en deux catégories :

1° Les blocs pesant au moins 500 kilogrammes par échantillon, c'est-à-dire ayant un volume d'un cinquième de mètre cube au moins;

2° Les moellons pesant au moins 30 kilogrammes par échantillon et ayant en moyenne un poids de 50 kilogrammes.

Dans chaque livraison, on tolérait des moellons d'un poids moindre, mais d'au moins 5 kilogrammes, jusqu'à concurrence d'un dixième au plus du cube de la livraison.

Ce sont les carrières ouvertes dans les mamelons rocheux de la Roque du Galégeon, qui ont fourni la plus grande partie des enrochements de la jetée nord, une partie des moellons et des blocs de la jetée sud.

La jetée nord, qui n'a que 500 mètres de longueur, dont 200 mètres hors de l'eau, est entièrement en moellons : les talus sont formés de moellons de choix, pesant 300 kilogrammes par échantillon.

Cette jetée s'avance jusqu'aux fonds naturels de $3^{m},25$: les chalands affectés au transport des enrochements tirant environ $1^{m},50$ d'eau, on n'a pu employer les enrochements des carrières situées de l'autre côté du golfe que pour l'extrémité de la jetée la plus éloignée de la côte. Les entrepreneurs ont exécuté le reste de la jetée avec les enrochements extraits des carrières du Galégeon.

La jetée sud a plus de 1,700 mètres de longueur; sa largeur au couronnement est de 2 mètres : elle s'élève jusqu'à $2^{m},70$ au-dessus des basses mers, en y comprenant un bombement de 20 centimètres : ses talus devaient, d'après le projet, être inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur.

On a commencé par former le corps, le noyau de la jetée, au moyen de moellons amenés, par des chalands, des carrières de la côte de Bouc.

Jusqu'au niveau des eaux, la jetée a été exécutée entièrement à pierres perdues; au-dessus de ce niveau, les moellons et blocs en revêtement étaient arrangés à la main, de

manière à présenter un parement régulier, sans aspérités de plus de 6 à 7 centimètres.

Du côté sud, exposé aux coups de mer du large, on a employé, en revêtement, des blocs de 1,200 kilogrammes en moyenne; du côté nord, on n'a employé que des moellons de 300 kilogrammes.

Les talus de la jetée présentent en moyenne l'inclinaison de 2 sur 1.

De chaque côté de la jetée sud, au niveau de l'eau, on a mis un cordon de blocs et de gros moellons, sorte d'approvisionnement destiné à parer aux éboulements des talus inférieurs, et à préserver ainsi les revêtements soignés du dessus de la jetée.

A son extrémité du côté du large, la jetée se termine par un massif tronc-conique de 20 mètres environ de diamètre et élevé à $2^{m},50$ au-dessus des basses mers, sur lequel a été établi le fanal qui signale l'entrée du canal Saint-Louis. L'intérieur de ce musoir est en moellons; il est protégé par un fort revêtement en blocs de 1,200 kilogrammes.

Les jetées ont été commencées en même temps que le creusement du canal; leur achèvement a coïncidé avec la mise de l'eau dans le canal.

Dragages. — Le chenal est ouvert en ligne droite dans le prolongement du canal : il a 6 mètres de tirant d'eau en basse mer, 60 mètres de largeur au plafond; à l'extrémité, vers le large, cette largeur est portée à 200 mètres.

Système de construction de l'écluse. — Les têtes de l'écluse, les bajoyers du sas et les murs en retour sont

fondés sur pilotis : le radier du sas consiste en un massif de maçonnerie ordinaire reposant directement sur le sol.

Les pieux, espacés de $1^m,15$ d'axe en axe, sont coiffés d'un massif de béton de $1^m,50$ d'épaisseur pour les têtes, et de 1 mètre pour les bajoyers du sas et pour les murs en retour : les têtes des pieux sont noyées dans le béton, de 1 mètre sous les têtes et de 50 centimètres sous les bajoyers du sas et sous les murs en retour, de telle sorte que la couche de béton au-dessus du plan de recepage des pilots est partout de $1^m,50$.

A l'amont et à l'aval de l'écluse, le long des têtes, règnent des parafouilles : ce sont des massifs de béton de $1^m,15$ de largeur, de 3 mètres de hauteur, coulés entre deux files de pieux et de palplanches. En avant des parafouilles d'amont, on a établi un avant-radier en béton de 10 mètres de longueur et de 1 mètre d'épaisseur; à l'aval, on a construit une sorte d'arrière-radier en enrochements de 80 centimètres d'épaisseur.

Le radier des têtes a 3 mètres d'épaisseur, y compris le béton de fondation, tandis que celui du sas n'a que 2 mètres.

L'épaisseur des bajoyers des têtes est de $3^m,65$ en couronne et de $5^m,65$ à la base.

Le béton des fondations des bajoyers du sas est établi à — $8^m,00$: l'épaisseur des murs est de $2^m,50$ en couronne et de $4^m,50$ à la base.

Sous les murs en retour le terrain a été déblayé jusqu'à — 7 mètres : l'épaisseur de ces murs est de $2^m,50$ en couronne et de $4^m,42$ à la base; ils ont un fruit d'un vingtième, tandis que les bajoyers ont au contraire leur parement vertical.

Tous ces murs présentent du côté des terres trois redans de 50 centimètres de largeur.

On compte cinq files de pieux sous les murs en retour, et six sous les bajoyers du sas.

Dans la construction de l'écluse, on a cherché à restreindre autant que possible l'emploi de la pierre de taille; sauf les angles, le busc, le chardonnet et le parement intérieur des murs au-dessus du niveau des basses mers, tous les parements sont en moellons simplement dégrossis au marteau, à joints incertains, sans assise régulière.

Tous les murs sont couronnés par une tablette en pierre de taille, de 50 centimètres d'épaisseur et de 1 mètre de largeur.

A l'amont et à l'aval de chacune des chambres des portes, on a placé dans le radier deux files de dés en pierre de taille, percés chacun d'un trou carré de 30 centimètres de côté.

Dans le cas où l'on serait obligé de mettre à sec l'une ou l'autre des chambres des portes, on ficherait dans les trous de ces dés des pièces de bois verticales avec vannage intermédiaire, et on pourrait établir un batardeau à chaque extrémité de la tête.

Le quai est du chenal est fondé, comme ceux du bassin, directement sur le sol. Une couche de béton de 1 mètre d'épaisseur est établie à — 6 mètres; le mur en maçonnerie a une épaisseur de $2^{m},25$ en couronne et de $3^{m},62$ à la base : son parement extérieur présente un fruit d'un vingtième. Il est en moellons dégrossis au marteau, sauf la partie au-dessus de la basse mer qui est en moellons piqués; son parement intérieur est disposé en redans de 50 centi-

mètres de largeur; le couronnement a 40 centimètres d'épaisseur et 1 mètre de largeur.

Le quai ouest du chenal, le musoir et le quai sur le Rhône sont construits en béton coulé dans un encaissement en pieux et palplanches.

Le béton s'élève jusqu'à 60 centimètres en contre-haut de la basse mer, il est surmonté d'un mur de $1^{m},80$ d'épaisseur; le parement est en moellons piqués et présente un fruit d'un vingtième.

Le béton de ces murs descend jusqu'à — 6 mètres : il a $4^{m},50$ de largeur pour le quai du Rhône, et 3 mètres seulement pour le mur du chenal; l'encaissement en charpente descend jusqu'à $-9^{m},70$ au quai du Rhône, jusqu'à — 8 mètres au quai du chenal.

La différence des dimensions de ces deux quais s'explique par les motifs suivants : le quai dans le Rhône est exposé aux affouillements du fleuve, tandis que le quai du chenal n'a rien à craindre; de plus, le quai sur le fleuve a dû former batardeau pendant la construction de l'écluse.

L'écluse et ses murs en retour, le quai est du chenal ont été exécutés entièrement à sec, à l'abri d'un batardeau formé par le terrain naturel.

Épuisements. — Les épuisements jusqu'à la cote $-9^{m},50$, niveau de fondation du radier du sas, ont été faits par une noria placée sur un des côtés de l'écluse, en dehors des murs, vers le milieu de la longueur du sas.

Cette noria était mise en mouvement par une machine horizontale à détente et à condensation, à un seul cylindre, de la force de dix chevaux.

Les eaux étaient élevées jusqu'à + $2^m,50$ et rejetées dans le Rhône. Cette noria a rendu d'excellents services. Elle était peu sujette à dérangements; elle montait les eaux les plus chargées de sables tout aussi bien que les eaux les plus claires; elle draguait même un peu son puisard. Aussi les épuisements de l'écluse n'ont-ils jamais été interrompus un seul instant.

Mais cette machine ne suffisait pas. Elle ne pouvait prendre les eaux qu'à la cote — $9^m,50$, alors que le béton des radiers des têtes descend à — $11^m,60$, et celui des parafouilles a — $12^m,50$.

C'est pourquoi à chacune des deux têtes on avait établi un centre d'épuisements, formé d'une pompe rotative mise en mouvement par une locomobile.

Maçonneries de l'écluse. — L'exécution des maçonneries a suivi celle des fouilles et le battage des pieux, exactement dans le même ordre, savoir :

1° Établissement du radier du sas entièrement en maçonnerie ordinaire.

Ce massif de maçonnerie étant établi simplement sur le sol sans aucune préparation, tandis que les bajoyers du sas et les têtes reposaient sur des pilotis, il était présumable qu'une rupture se produirait au point où changeait le mode de fondation. Dès lors, on a jugé à propos de construire le massif du radier isolément, en laissant tout autour un espace libre de 20 centimètres de largeur; ce vide a été rempli de béton, une fois que toutes les maçonneries ont été terminées et au moment où on allait mettre l'eau dans l'écluse;

2° Établissement des bajoyers.

3° Exécution de la tête aval et de ses murs en retour.

4° Exécution de la tête amont et de ses murs en retour.

On a employé exclusivement la chaux hydraulique du Theil, des fours de MM. de Lafarge; le sable était pris dans les déblais de l'écluse, et en partie dans les îles que l'on trouve au milieu du Rhône, à 12 kilomètres environ en amont de Saint-Louis. Le mortier était fabriqué avec de l'eau douce.

Les pierres de taille et les moellons piqués de bas appareil provenaient des carrières de Cassis; le granit a été pris dans le département du Tarn et dans le Valais; les moellons ont été extraits des carrières d'Arles et des carrières ouvertes près de Bouc et sur la côte de la Couronne, en face des embouchures du Rhône.

Le mortier, composé de 320 kilogrammes de chaux blutée pour $0^{mc},900$ de sable, était fabriqué par des broyeurs mus par des manéges.

Construction des portes de l'écluse. — L'écluse est pourvue de deux paires de portes busquées en tôle.

Chaque vantail représente une caisse rectangulaire dont une portion forme flotteur, de manière à réduire le poids sur les pivots et l'effort sur les colliers. Il se compose d'une série d'entretoises horizontales identiques, également espacées, et assemblées à leurs extrémités sur deux poutres verticales, le poteau tourillon et le poteau busqué; sur ce cadre est appliqué à l'amont et à l'aval un bordage continu; le flotteur, ou caisse à air, est placé en dessous des plus basses mers; l'eau d'amont pénètre librement en dessus et en

dessous, de telle sorte que le vantail flotte toujours dans les mêmes conditions, quelle que soit la hauteur des eaux. On accède à la caisse à air au moyen de cheminées intérieures qui partent du dessus de la porte et traversent les entretoises supérieures.

Chaque vantail est muni d'une pompe qui permet d'extraire l'eau qui s'introduirait dans les flotteurs. Des trous, ménagés pour l'introduction de l'eau en dessous et en dessus du flotteur, peuvent être très-facilement fermés; il est possible dès lors de faire flotter chaque vantail, ce qui permettra de visiter assez aisément les portes quand besoin sera.

Les âmes des entretoises sont reliées au bordage par des fers plats, disposés en goussets verticaux, dont l'ensemble constitue deux poutres verticales intermédiaires entre le poteau tourillon et le poteau busqué.

Les portes s'appuient sur le busc par l'intermédiaire d'un cadre en bois de chêne boulonné sur la charpente des portes; les poteaux busqués sont en bois de chêne.

Enfin les portes sont surmontées de passerelles dont les garde-corps peuvent se rabattre, afin d'éviter toute avarie au passage des navires.

Les bordages aval des vantaux sont garnis d'un grillage en charpente destiné à préserver les tôles du frottement des navires.

Le remplissage et la vidange du sas s'opèrent au moyen d'aqueducs ménagés dans l'épaisseur des bajoyers des chambres des portes.

L'ouverture de ces aqueducs est munie d'une vanne en tôle.

Chaque vantail a une largeur de $11^m,627$, mesurée d'axe en axe des poutres verticales extrêmes, et une hauteur de $9^m,50$; son épaisseur, de face en face extérieure des bordages, est de $0^m,666$.

L'épaisseur des bordages est la même à l'amont et à l'aval; elle varie d'un compartiment à l'autre, elle est au maximum de 12 millimètres au bas du flotteur, et de 6 millimètres au compartiment supérieur des portes. L'épaisseur des vantaux, $0^m,666$, est constante sur toute la hauteur de chaque vantail; la largeur des entretoises varie avec l'épaisseur du bordage.

Les poutres horizontales sont au nombre de onze; elles sont formées d'une tôle de 10 millimètres, et de deux cornières de 70 millimètres de largeur et de 10 millimètres d'épaisseur; le poteau tourillon et le poteau busqué ont la même forme et sensiblement les mêmes dimensions.

Le poteau tourillon, dont l'âme a 15 millimètres d'épaisseur, est consolidé intérieurement par un gousset en tôle et cornières qui règne sur toute la hauteur de la porte. Extérieurement, il porte une série de disques en fonte qui viennent buter contre le chardonnet lorsque le vantail est fermé, de manière à former une sorte d'encastrement par coinçage qui concourt à la résistance du vantail.

La butée des disques du poteau tourillon sur le chardonnet se fait par l'intermédiaire de plaques en fonte scellées dans les maçonneries.

Le poteau busqué porte perpendiculairement à son âme, et dans le sens de sa longueur, une feuille de tôle qui lui est reliée par une cornière longitudinale et par des équerres en tôle et cornières; grâce à cette disposition on

a pu composer les poteaux busqués, proprement dits, d'une pièce de chêne de 30 centimètres seulement d'équarrissage.

Les pivots, crapaudines et tourillons, de même que les équerres qui les soutiennent, sont en acier Bessemer; la crapaudine femelle est fixée au-dessous de la porte. Le pivot, qui forme une saillie de 20 centimètres au-dessus du radier, est terminé par une calotte convexe; la crapaudine est concave, le rayon de sa concavité est un peu plus grand que celui de la convexité du pivot.

Les colliers à trois branches sont en fer forgé; ils sont retenus par des tirants avec ancrages, qui pénètrent profondément dans les maçonneries.

Les chaînes qui servent à ouvrir et à fermer les vantaux sont accrochées à peu près au milieu des portes. Les treuils sur lesquels elles s'enroulent sont au nombre de huit, deux pour chaque vantail, un treuil à simple engrenage pour la fermeture, un treuil double pour l'ouverture.

Les chaînes passent dans des puits ménagés dans l'épaisseur des murs; elles sont guidées par une série de poulies et de rouleaux.

Les vannes se composent simplement d'une feuille de tôle consolidée par des fers à T horizontaux et munie sur son pourtour de fourrures en bois; elles glissent sur deux bandes de fer scellées dans la maçonnerie. On manœuvre les vannes au moyen de vis à deux filets carrés. L'écrou seul, mobile, est relié à la vanne par une fourchette en fer forgé.

Les fers et tôles employés dans la construction des portes ont été essayés avant l'exécution; ils ont résisté sans se rompre à une traction de 34 kilogrammes par millimètre carré de section dans le sens perpendiculaire au laminage.

On a choisi pour les crapaudines, pivots et équerres, un acier Bessemer qui, aux essais, donnait à la traction une résistance de 68 kilogrammes par millimètre carré, avec un allongement de 16 p. o/o.

Les portes ont été montées exactement à la place qu'elles devaient occuper, et avant la mise de l'eau dans l'écluse.

Les entretoises et les poutres verticales, les châssis de contreventement, ont été terminés à l'atelier, et toutes les pièces y ont été assemblées provisoirement au moyen de boulons; un vantail a été monté tout entier avec tous ses accessoires : aussi le montage et la pose sur place n'ont-ils donné lieu à aucune difficulté.

Les fers, tôles et aciers ont reçu cinq couches de peinture.

Le poids d'un vantail, en y comprenant les bois, est de 49 tonnes; dans l'eau, grâce au flotteur, chaque vantail ne pèse que 7,000 kilogrammes.

Les travaux ont été adjugés, le 26 janvier 1870, à MM. Schneider et Cie, au Creusot; le montage sur place a commencé en août 1870, les travaux étaient complétement terminés le 4 avril 1871.

Construction du fanal de la jetée sud. — Le fanal qui signale l'entrée du canal Saint-Louis est placé sur le musoir de la jetée sud.

Il se compose d'un cylindre en tôle, de 1^m^,50 de diamètre, dans lequel est logé un escalier, et qui est surmonté d'une chambre cylindrique, également en tôle, de 3 mètres de diamètre et de 2^m^,80 de hauteur. L'escalier de la tourelle traverse la chambre et donne accès à la lanterne qui

repose sur la chambre, par l'intermédiaire d'un tambour en tôle, de $1^{m},60$ de diamètre et de $1^{m},15$ de hauteur.

Une porte basse, ménagée dans ce tambour ou soubassement de la lanterne, donne accès sur la galerie extérieure.

La hauteur du plancher de cette galerie est à 10 mètres au-dessus de la jetée.

La tour, qui forme cage d'escalier, est boulonnée sur un socle en fonte scellé sur un massif de maçonnerie, de 8 mètres de diamètre et de 2 mètres de hauteur. Six boulons verticaux en fer forgé, de 70 millimètres de diamètre, forment l'ancrage du socle.

La tour, qui a $6^{m},86$ de hauteur, a été construite en trois morceaux : deux viroles identiques, de $2^{m},89$ de hauteur, une virole, de $1^{m},080$, celle qui se trouve sous la chambre de service.

Chaque virole se compose de six feuilles de tôle assemblées bout à bout, suivant des génératrices du cylindre, avec un couvre-joint extérieur et deux rangs de rivets; la jonction de deux viroles est opérée de la même manière, avec couvre-joint à quatre rangs de rivets.

L'assemblage de la chambre sur la tour est obtenu par une ligne de rivets; il est consolidé par de fortes équerres extérieures en fonte.

L'escalier est en fonte; les marches sont boulonnées sur les parois de la tour; elles sont reliées entre elles par un boulon qui passe au centre du noyau de l'escalier et dont la tête vient se claveter dans le socle même de la tourelle.

L'escalier est éclairé par une fenêtre qui se trouve vers le milieu de la hauteur de la tour.

Le montage de ce fanal a été extrêmement simple; on a

mis en place le socle et les viroles successives, puis la chambre; on montait l'escalier au fur et à mesure que s'élevait la construction, de telle sorte qu'on n'a eu, pour ainsi dire, aucun échafaudage à construire. On n'avait eu à installer qu'une grande bigue à l'emplacement que devait occuper le fanal.

Pour le rivetage et pour le peinturage, on s'est servi d'un échafaudage mobile enveloppant la tour et composé de quelques planches soutenues par des palans.

Dans la construction de cette tour, il est entré 16,425^{k},58 de tôles, fers et fonte.

C'est la Société des forges et chantiers de la Méditerranée qui a été chargée de la construction et du montage.

Introduction de l'eau dans le canal. — Tous les ouvrages à exécuter à sec étaient terminés en mars 1871, et le 17 avril on a commencé à introduire les eaux dans le canal.

L'introduction de l'eau était une opération assez délicate.

Le volume à introduire était de 1,650,000 mètres cubes. On ne pouvait pas évidemment songer à ouvrir simplement un des batardeaux qui fermaient le canal à ses deux extrémités; les eaux en se précipitant dans le canal, dans le bassin et dans l'écluse, auraient entraîné des masses considérables de terres, de sables, auraient bouleversé les talus; d'autre part, on ne devait pas mettre trop de temps pour le remplissage, parce que le batillage qui se serait produit sous l'action du vent aurait bien certainement occasionné des dégradations dans les talus.

On s'est imposé la condition de remplir le canal jusqu'à 30 centimètres au-dessous de la basse mer en quinze jours.

Les infiltrations pouvaient donner 50,000 mètres cubes, il restait à introduire 1,600,000 mètres; il fallait donc verser 100,000 mètres cubes environ par jour; les dimensions du canal d'introduction ont été calculées en conséquence.

Le remplissage a été fait avec les eaux du Rhône et par l'écluse.

Entre le fleuve et le sas de l'écluse on a creusé un canal de $3^m,60$ de largeur au plafond, commandé, du côté du Rhône, par une vanne dont le seuil était placé au niveau de la basse mer.

Cette vanne était établie dans le mur fondé sur béton, dans l'encaissement qui rattache le quai du Rhône à la rive; à la traversée des remblais, derrière le bajoyer du sas, le canal était remplacé par une buse en charpente, de $1^m,50$ de largeur, et qui débouchait dans le sas à la cote — 30 centimètres.

On pouvait fermer les extrémités de la buse en charpente au moyen de poutrelles; la vanne de prise d'eau pouvait se fermer de la même manière.

L'eau tombait sur le radier d'une hauteur de 6 mètres. Pour éviter toute dégradation du parement qui est exécuté en maçonnerie ordinaire, on avait placé, au point où devait frapper la lame d'eau, un plancher de 8 mètres de longueur, sur 5 mètres de largeur, composé de vieilles feuilles de tôle dont on disposait alors, et de pièces de bois formant grillage à leur surface. Ce grillage en bois avait pour but de briser la masse d'eau et aussi de diminuer le poids du plancher, de telle sorte qu'on pût facilement le retirer à la fin de l'opération.

On a commencé à introduire l'eau le 17 avril 1871; le 4 mai les eaux étaient dans le canal à la cote — 30 centimètres.

Il a été pratiqué ensuite une coupure dans le batardeau de la mer, une autre dans le batardeau du Rhône; l'opération du remplissage était terminée.

Dépenses totales et travaux complémentaires. — Les dépenses faites pour créer le canal et le port Saint-Louis s'élèvent à 14,700,000 fr. Si l'on joint aux travaux exécutés la digue insubmersible contre le Rhône, au nord du bassin, et les quais du Rhône, travaux qui ont été déclarés d'utilité publique, par décret du 25 novembre 1872, cette estimation s'élève à 15,500,000 francs.

Les projets du canal Saint-Louis ont été dressés, et les travaux ont été exécutés sous la direction de M. Pascal, ingénieur en chef du service spécial maritime des Bouches-du-Rhône, à Marseille.

Les projets du canal et de l'écluse ont été rédigés par M. Bernard, ingénieur ordinaire à Marseille, qui a été chargé de l'exécution des travaux jusqu'à la fin de 1867. M. Guérard, ingénieur ordinaire, résidant à la Tour-Saint-Louis, embouchure du Rhône, a été chargé de rédiger les projets des quais du bassin, des portes de l'écluse, du fanal de la jetée sud, et a dirigé l'exécution des travaux depuis le 10 février 1868. M. Reybert, conducteur, n'a pas cessé d'être attaché aux études et aux travaux des embouchures et du canal Saint-Louis, depuis 1846.

Les entrepreneurs, qui ont mené leurs travaux à bonne

fin, étaient : MM. Desmons et Dulau, pour le canal; MM. Guien et Alphaise, pour l'écluse, et M. Fayel, pour les charpentes des quais; MM. Schneider et Cie, du Creusot, pour les portes; la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, à Marseille, pour la tourelle du fanal de la jetée sud.

XXII.

ATLAS DES PORTS DE FRANCE.

Un portefeuille de plans et de cartes.

Un volume de notices.

Les cartes à l'échelle de $0^m,0000075$; les plans à l'échelle de $0^m,0002$.

Une décision ministérielle, du 24 octobre 1868, a ordonné la publication d'un atlas des ports de commerce de France, et a chargé une commission d'arrêter les bases et de diriger l'exécution de ce travail.

L'ouvrage comprend, outre les plans de tous les ports, des cartes à la fois hydrographiques et territoriales, destinées à représenter les atterrages de nos principaux établissements maritimes, ainsi que leurs moyens de communication avec l'intérieur du pays; et des notices donnant les renseignements les plus essentiels sur les abords, les conditions nautiques, le développement successif, l'état actuel et la statistique de chacun des ports.

La première partie, seule achevée aujourd'hui, embrasse les ports des départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, et comprend une partie du littoral de la Seine-Inférieure. Le texte constitue le premier volume des notices.

La commission de l'atlas des ports est présidée par M. Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées.

Elle a eu d'abord pour secrétaire M. l'ingénieur baron Baude, qui, enlevé par une mort prématurée, a été remplacé par M. l'ingénieur de Dartein.

Chef du bureau de dessin, M. le conducteur Huguenin.

Graveur des planches, M. Dulos.

XXIII.

CARTE DES PHARES

ET

ÉTAT DE L'ÉCLAIRAGE ET DU BALISAGE DES CÔTES DE FRANCE.

Une carte et un volume grand in-8°.

Ces documents font connaître l'état de l'éclairage et du balisage des côtes de France, au 1er janvier 1872.

A cette époque les phares étaient au nombre de 330, non compris ceux de l'Algérie, et ce chiffre se composait ainsi qu'il suit :

Phares de 1er ordre	45
——— 2e ordre	6
——— 3e ordre	44
——— 4e ordre ou fanaux	225
Feux flottants	10

Les travaux de balisage comprenaient :

Balises en bois ou en fer	1,165
Tourelles en maçonnerie	201
Bouées ordinaires	659
Bouées à cloche	32
Amers	924

Les travaux de construction de phares de divers ordres ont été poussés avec activité en 1872, mais il n'a été allumé que six nouveaux feux pendant le cours de l'année.

Le nombre des phares de France, au 1er janvier 1873, s'élevait donc à 336.

241 de ces établissements ont été créés ou renouvelés depuis le commencement de 1848.

Le balisage maritime n'existait pour ainsi dire pas à cette époque.

L'huile de colza est jusqu'à présent le combustible le plus employé pour l'éclairage des phares. Trois feux seulement sont produits par la lumière électrique, et 116 phares, dont 1 de deuxième ordre, 6 de troisième et 109 de quatrième, sont alimentés à l'huile minérale. Mais une décision du Ministre des travaux publics, prise sous la date du 29 mars 1873, en conformité d'un avis de la Commission des phares et à la suite de nombreuses expériences poursuivies pendant plusieurs années, a ordonné la substitution de l'huile minérale à l'huile de colza dans tous les phares, sauf, quant à présent, dans les feux flottants, pour lesquels de nouvelles études ont paru nécessaires. Il a été décidé en même temps que le nombre des mèches concentriques des feux des trois premiers ordres sera augmenté d'une unité; il y aura désormais sur les côtes de France cinq ordres de phares, lesquels seront déterminés par les dimensions de l'appareil et le nombre des mèches de la lampe.

Le tableau ci-après permet de comparer le système adopté jusqu'à ce jour, non-seulement en France, mais par la plupart des puissances maritimes, à celui qui va le remplacer, et il fait ressortir nettement les avantages de la nouvelle mesure.

	ANCIEN SYSTÈME. HUILE DE COLZA.				
	1er ordre.	2e ordre.	3e ordre G. M.	3e ordre P. M.	4e ordre.
Nombre de mèches	4	3	2	2	1
Diamètre moyen de la mèche extérieure	85mm	69mm	39mm	32mm	24mm
Diamètre du bec	90	74	44	37	29
Diamètre de l'appareil lenticulaire	1m,84	1m,40	1m,00	0m,50	0m,37
Intensité de la lampe en becs de Carcel (1)	23 becs	15b	5b	3b	1b,6
Intensité du feu fixe, sans réflecteur	630	335	90	30	13
Consommation d'huile par bec — par heure	760gr	500gr	175gr	110gr	60gr
Consommation d'huile par bec — par année	3,040kg	2,000kg	700kg	440kg	240kg
Dépenses annuelles de fourniture d'huile au prix moyen de 1f 51c pour l'huile de colza, et de 0f 85c pour l'huile minérale, par phare	4,590f 40c	3,020f 00c	1,057f 00c	664f 40c	362f [illegible]
Nombre de phares au 1er janvier 1873	42 (2)	6	30	15	230
Dépense annuelle d'huile par ordre de phares	192,796f 80c	18,120f 00c	31,710f 00c	9,966f 00c	83,352f [illegible]
Total de la dépense annuelle d'huile	335,938f 80c				

NOUVEAU SYSTÈME. HUILE MINÉRALE.					OBSERVATIONS.
1er ordre.	2e ordre.	3e ordre.	4e ordre.	5e ordre.	
5	4	3	2	1	On n'a pas tenu compte de la réduction de dépense d'huile que présentent les feux de marée et quelques fanaux actuellement munis de lampes à huile de colza, ne consommant que 50 grammes d'huile par heure au lieu de 60; de même qu'on a fait abstraction des appareils supplémentaires installés dans quelques phares. En ce qui est des intensités lumineuses, on n'a cru nécessaire de mentionner, parmi les feux du dernier ordre, ni les appareils lenticulaires de moins de $0^m,375$ de diamètre, ni les réflecteurs paraboliques de diverses dimensions. Entrer dans ces détails eût été compliquer notre résumé sans but suffisamment utile, car il n'en serait résulté qu'une différence tout à fait négligeable dans les chiffres des dépenses. Ainsi qu'il a été dit plus haut, les feux flottants ne sont pas compris dans ce résumé.
105^{mm}	85^{mm}	65^{mm}	45^{mm}	25^{mm}	
110	90	70	50	30	
$1^m,84$	$1^m,40$	$1^m,00$	$0^m,50$	$0^m,375$	
30^b	23^b	14^b	$6^b,4$	$2^b,2$	
820	510	250	64	18	
900^{gr}	630^{gr}	360^{gr}	160^{gr}	55^{gr}	
$3,600^{kg}$	$2,520^{kg}$	$1,440^{kg}$	640^{kg}	220^{kg}	
$3,060^f\ 00^c$	$2,142^f\ 00^c$	$1,224^f\ 00^c$	$544^f\ 00^c$	$187^f\ 00^c$	
42 (2)	6	30	15	230	(1) On croit devoir rappeler que l'unité de lumière adoptée par la Commission des phares est le bec de Carcel, de $0^m,020$ de diamètre, consommant 40 grammes d'huile de colza par heure. (2) Déduction faite de 3 phares éclairés à la lumière électrique.
$8,520^f\ 00^c$	$12,852^f\ 00^c$	$36,720^f\ 00^c$	$8,160^f\ 00^c$	$43,010^f\ 00^c$	
$229,262^f\ 00^c$					

On voit que les nouvelles mesures auront pour effet de réduire les dépenses et d'augmenter les intensités dans une forte proportion. Il y aura, eu égard à l'état actuel de l'éclairage maritime de la France, environ 45 p. o/o de plus dans la quantité de lumière envoyée à l'horizon, et 32 p. o/o de moins dans les dépenses d'huile.

On a longtemps hésité à employer l'huile minérale à l'éclairage des phares par la crainte des explosions et des graves accidents qu'elle pourrait avoir pour conséquences. Mais, si quelques espèces d'huiles de ce genre doivent être regardées comme très-dangereuses, à raison de la faible élévation de température qu'elles exigent pour émettre des vapeurs inflammables, il en est qui donnent de suffisantes garanties sous ce rapport, et telle est celle qui est employée dans les phares de France. Elle provient de la distillation du boghead, et porte le nom de paraffine d'Écosse. De toutes celles qui ont été expérimentées par les ingénieurs du service des phares, aucune ne s'enflamme aussi difficilement et n'est douée en même temps d'un pouvoir éclairant aussi considérable, ainsi que le montre le tableau ci-contre.

Une autre difficulté avait entravé le développement de l'application de l'huile minérale : ce combustible donnait d'excellents résultats dans les lampes à une seule mèche, mais ne se comportait pas aussi bien avec les mèches multiples. Le problème a été résolu en 1868 par M. le capitaine Doty, qui a présenté un bec à quatre mèches donnant autant d'éclat et de régularité dans la flamme que les lampes du même ordre alimentées à l'huile de colza.

Les nouveaux becs s'adaptent facilement aux lampes

existantes, de sorte que la transformation n'est pas assez dispendieuse pour devenir un motif d'ajournement.

DÉSIGNATION DES HUILES.	N° D'ORDRE.	INTENSITÉ lumineuse produite par la consommation de 40 gr^mes.	CONSOMMATION par heure pour une intensité d'un bec.	TEMPÉRATURE d'inflammation.	TEMPÉRATURE d'ébullition.	DENSITÉ à 0°.	COEFFICIENT de dilatation de 0° à 100°.
		becs.	gr.				
Achaume, à Autun.....	1	1,36	25,7	25°	140°	0,827	0,084
J. Barse, compagnie de l'éclairage minéral de l'Allier, à Buxière-la-Grue.....	2	1,82	21,9	26	142	0,818	0,087
Graillot frères, à Autun.....	3	1,63	24,6	29	149	0,819	0,087
Rondeleux, mines de la Condamine, à Buxière-la-Grue...	4	1,59	25,2	29	152	0,833	0,093
Hubinet de Soubise, à Autun..	5	1,47	27,2	37	156	0,830	0,099
E. Gontier et Cie, à Autun....	6	1,74	22,4	41	160	0,825	0,080
Société civile des mines de l'Autunois.....	7	1,55	25,8	42	164	0,831	0,098
Compagnie anonyme des huiles de Colombes.....	8	1,60	25,1	46	168	0,834	0,090
Roche et Cie, d'Igonay (Saône-et-Loire).....	9	1,45	27,6	49	174	0,834	0,095
Young's Parafin light and mineral oil Company (Écosse).	10	2,18	18,3	72	205	0,833	0,094

MM. Barbier et Fenestre, constructeurs de phares à Paris, sont autorisés par l'inventeur à fabriquer les becs du système Doty. MM. Henry-Lepaute, également constructeurs de phares à Paris, établissent des becs auxquels ils ont donné le nom de becs Fresnel modifiés, qui se comportent de la même manière que ceux de M. Doty.

L'Administration française n'a pas jugé qu'il y eût lieu

jusqu'à présent de se prononcer en faveur de l'un des systèmes au détriment de l'autre.

Le service des phares de France est dirigé par M. l'inspecteur général Léonce Reynaud, avec la collaboration de M. l'ingénieur en chef Allard et de tous les ingénieurs des départements maritimes.

XXIV.

PHARE DES ROCHES-DOUVRES.

Dessins aux échelles de $0^{m},01$ et de $0^{m},04$.

La tour métallique et l'appareil d'éclairage du phare des Roches-Douvres ont figuré à l'Exposition universelle de 1867, à Paris. A la suite de cette Exposition, ils ont été transportés et mis en place sur le rocher le Grand-Signal, faisant partie du plateau des Roches-Douvres, entre l'île de Bréhat et l'île de Guernesey. L'opération, préparée en 1867 par quelques travaux de fondation, a pu être terminée dans les deux campagnes de 1868 et 1869. Elle a présenté d'assez grandes difficultés, parce que les courants de marée sont très-forts sur ce point et que la mer y est généralement d'une violence extrême, surtout par les vents de nord-ouest.

La roche sur laquelle repose la tour est un gueiss métamorphique très-tourmenté et très-résistant, dont les couches, fortement inclinées de l'ouest à l'est, sont dénudées et arrondies par la grosse mer. Cette roche a donné d'excellents matériaux pour les travaux de maçonnerie dépendant de l'installation du phare.

Le massif de fondation est exécuté en maçonnerie de moellons bruts avec mortier de ciment de Portland; il est

recouvert extérieurement d'un enduit, non lissé, également en mortier de ciment de Portland.

Il a la forme d'un cylindre de 16 mètres de diamètre sur $1^{m},30$ de hauteur moyenne, surmonté d'un tronc de cône de $14^{m},65$ de diamètre moyen et de $2^{m},80$ de hauteur.

Le cube total est d'environ 418 mètres.

Les ouvrages accessoires ont été : la construction d'un débarcadère en moellons bruts, avec mortier de ciment de Grignon à prise rapide; la construction d'une rampe en maçonnerie de 50 mètres de longueur avec chemin de fer, conduisant du débarcadère à la porte du phare; et, enfin, l'installation d'une cabane en fer élevée à une certaine hauteur au-dessus de la roche, sur quatre montants solidement scellés, qui a servi de magasin et de bureau au conducteur des travaux pendant les premiers temps du montage de la tour.

Le matériel et les apparaux employés pendant les travaux ont compris : deux bateaux à vapeur, un fort chaland ponté, deux baleinières, un mât de charge fixe scellé au bout du débarcadère, une grande bigue, un mât de charge mobile à volée variable et ses planchers, pour la pose des grosses pièces métalliques, huit chaises mobiles pour le boulonnage extérieur, trois treuils, une forge de campagne, un outillage de serrurier, et un échafaudage spécial en bois pour la pose du couronnement.

Les travaux ont été commencés en 1867, par l'extraction de la pierre sur la roche même et par les premières maçonneries du massif de fondation.

On procédait de la manière suivante : à toutes les

grandes marées praticables, l'un des bateaux à vapeur partait de Bréhat avec le jusant et se rendait aux Roches-Douvres, où il arrivait deux heures environ avant la mer basse. Il mouillait à une encablure ou deux du côté le plus favorable à l'accostage de la roche, côté variable suivant les vents, et une baleinière débarquait le personnel et les outils. On travaillait de deux à trois heures, en moyenne, et l'on se rembarquait au commencement du flot pour le retour à Bréhat.

En procédant ainsi, on est parvenu à exécuter, pendant cette première campagne, environ la moitié de la fondation.

L'année suivante, dès le 1er avril, on put faire un voyage au plateau pour prendre les dispositions nécessaires à l'ouverture de la seconde campagne, et on constata que toutes les maçonneries déjà exécutées avaient parfaitement résisté à la grosse mer de l'hiver. La pierre extraite, laissée en approvisionnement sur la roche, avait été seule emportée par les lames.

Il ne fut plus possible de retourner aux Roches-Douvres avant le 14 mai 1868, jour de la reprise de l'extraction des pierres et des travaux de maçonnerie que l'on exécuta dans les mêmes conditions qu'en 1867 : un des bateaux à vapeur transportait les ouvriers, dès le matin, au plateau, à chaque marée favorable, et les ramenait en rade de Bréhat, le soir, pour recommencer le lendemain.

Enfin, le 17 juin, on put établir le personnel à demeure sur la roche dans des baraquements en bois, installés dans le vide ménagé pour la zone annulaire des scellements de la tour.

Le 1er juillet, on terminait le débarcadère et la rampe d'accès avec son chemin de fer.

Pendant l'exécution de ces travaux sur le récif, on avait reçu et classé à Bréhat, dans une enceinte spéciale, toutes les pièces métalliques du phare, et l'on avait préparé les apparaux de levage.

Le 6 juillet, on transporta au plateau les premières pièces et on les mit en place.

A partir de ce moment, la campagne fut franchement ouverte, et les débarquements ainsi que la pose s'effectuèrent sans trop de difficultés jusqu'au 17 août, jour où les mauvais temps s'annoncèrent par une pluie torrentielle, du vent et une mer démontée.

A cette date, on était rendu à la septième travée, à environ 26 mètres au-dessus des plus hautes mers d'équinoxe.

Les mois de septembre et d'octobre, pendant lesquels on continua à travailler, au milieu de mille difficultés, permirent d'avancer les travaux jusqu'à la douzième travée; mais le débarquement des pièces était devenu presque impossible. On eut même quelques avaries à regretter; ainsi la grosse mer détruisit le bateau chaland et le wagon du chemin de fer, et elle brisa quelques caisses, sans endommager toutefois d'une manière notable les pièces qu'elles contenaient.

Lorsqu'il fut démontré qu'on ne pouvait plus rien faire de sérieux, on prit les dispositions nécessaires pour installer un feu provisoire sur la tour inachevée. L'appareil d'éclairage, présentant le caractère scintillant du feu définitif, mais avec une moindre intensité, fut établi le

10 novembre, et allumé officiellement le 10 décembre 1868.

La troisième campagne fut ouverte le 10 juin 1869, et l'on continua avec activité le montage de la tour. Pendant ce temps, l'éclairage provisoire ne cessa pas de fonctionner au centre de la treizième travée, dépourvue de ses tôles de revêtement.

L'allumage du feu définitif eut lieu le 6 août 1869; l'appareil d'éclairage provisoire fut alors démonté, on mit en place les tôles de la treizième travée, et l'on fit le peinturage général de l'édifice. Les travaux furent terminés le 26 août.

La dépense totale de la construction est indiquée ci-après :

Tour métallique proprement dite, fer et fonte 317,328 kilogrammes	223,986f 76c
Menuiserie, serrurerie, main courante en bronze, peinture	33,788 57
Lanterne, appareil d'éclairage, sonnerie pour les temps de brume	85,576 21
Emballage et transport	19,819 81
Outils, apparaux de montage, installations diverses.	17,086 02
Travaux de fondation et de montage	225,100 00
Dépense totale	605,357f 37c

Ingénieurs pour la tour métallique : MM. Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service des phares, et Émile Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Constructeur : M. Rigolet, à Paris.

Ingénieurs pour les travaux de fondation et de montage sur la roche : MM. Dujardin et Pelaud, ingénieurs en chef; de la Tribonnière, ingénieur ordinaire; Bertin, conducteur des ponts et chaussées, et Le Bozec, employé des ponts et chaussées.

XXV.

PHARE DU FOUR.

(FINISTÈRE.)

Une feuille de dessins aux échelles de $0^m,02$ et $0^m,04$.

Le phare du Four est construit à l'extrémité nord du chenal de ce nom, sur la roche la plus avancée en mer, à deux milles à l'ouest du petit port d'Argenton. Cette roche, formée d'un granit très-dur, s'élève à 2 mètres environ au-dessus du niveau des hautes mers, et il devient impossible de l'accoster dès que la mer est tant soit peu agitée. Dans les gros temps, les lames y déferlent avec une telle violence qu'elles s'élèvent au-dessus de la lanterne du phare, et ont brisé des volets de $0^m,06$ d'épaisseur, qui fermaient, pendant la période d'exécution des travaux, les étroites fenêtres de la tour.

Les dépôts et les chantiers de préparation des pierres étaient établis dans le port d'Argenton, d'où partait, quand les circonstances de mer paraissaient favorables, la flottille qui transportait sur la roche les ouvriers et les matériaux de construction. Des échelons, diversement disposés et distribués, permettaient aux ouvriers de gravir les parois abruptes et glissantes, et une grue très-simple, n'offrant

presque pas de prise à la mer, servait au débarquement du matériel.

Le phare consiste en une tour d'un diamètre intérieur de $4^{m},50$, établie sur un massif de maçonnerie arasé à 2 mètres au-dessus des pleines mers d'équinoxe, et encastré dans le rocher dont il enveloppe les parties les plus hautes. Le mur a $2^{m},75$ d'épaisseur à la base et $1^{m},18$ au sommet. Au-dessus de la corniche de couronnement, dont le larmier est soutenu par seize consoles, s'élève un parapet composé de dalles de $0^{m},20$ d'épaisseur assemblées dans des pilastres.

La tour s'élève à $22^{m},70$ au-dessus du massif de la base; à cette hauteur, elle est surmontée d'une murette polygonale à dix pans, en tôle, de $2^{m},40$ de diamètre, murette qui supporte la lanterne : le plan focal dépasse ainsi de 28 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les maçonneries sont exécutées en moellons de granit posés à bain de mortier de ciment de Portland, avec parement en pierres de grand appareil.

La déclivité très-prononcée de la roche, vers le sud, a commandé les plus grandes précautions dans l'implantement du phare. Le rocher a été profondément entaillé partout, en redans concentriques, inclinés vers le centre de la tour, et de nombreux goujons en fer, de $0^{m},07$ de diamètre, y ont rattaché les premières assises de la maçonnerie. Des crampons de même métal relient entre elles toutes les pierres de l'assise du cordon, et une vigoureuse ceinture, également en fer, est encastrée au-dessus des consoles de la corniche. Les pilastres du parapet sont maintenus à leur pied par des dés en bronze.

La tour se compose d'un rez-de-chaussée surmonté de cinq étages. Le rez-de-chaussée et les quatre premiers étages sont mis en communication par un escalier en pierre, commençant au bout du couloir qui suit la porte d'entrée. Droit d'abord, puis circulaire à noyau plein, cet escalier compte 94 marches et sa cage est formée partie aux dépens de l'épaisseur du mur, partie aux dépens du vide cylindrique de la tour; un mur de faible épaisseur l'isole des chambres. Du quatrième étage auquel il s'arrête, on accède à l'étage supérieur, et de là dans la lanterne, au moyen d'escaliers suspendus exécutés en fer et en fonte, et disposés de manière à occuper peu de place.

Le rez-de-chaussée est divisé en trois compartiments : le vestibule et deux caveaux dallés, éclairés chacun par une lucarne de $0^m,50$ sur $0^m,25$. Le caveau de gauche renferme une soute à charbon, de 5,000 kilogrammes de contenance, se chargeant par l'escalier, et une pompe aspirante et foulante, pour l'alimentation d'eau. Celui de droite est le dépôt des huiles. Au premier étage est le magasin. Il peut recevoir, dans vingt-deux caisses en tôle, un approvisionnement de 5,000 litres d'eau douce; on y trouve aussi deux soutes à charbon, d'une contenance totale de 2,000 kilogrammes, placées de chaque côté de la porte, dans les angles formés par la saillie de la cage d'escalier sur le cylindre intérieur de la tour. La chambre du deuxième étage est la cuisine; le fourneau y est placé dans une niche surmontée d'une coulisse de $0^m,30$ de largeur sur $0^m,45$ de profondeur, ménagée dans le mur du phare et se prolongeant jusqu'à la plate-forme supérieure. Dans cette coulisse se loge le tuyau en cuivre du fourneau. Les pans coupés que présente la

saillie de l'escalier servent à établir deux placards. Le troisième étage forme la chambre à coucher, contenant deux lits et deux placards analogues à ceux de la cuisine. Au quatrième étage est la chambre de la trompette à vapeur que surmonte la chambre de service formant le cinquième étage. Le rez-de-chaussée et les deux premiers étages sont voûtés ainsi que le cinquième; la voûte du rez-de-chaussée est cylindrique; celles des autres étages sont sphériques. Toutes sont en briques de Bristol, sauf la voûte du cinquième, qui, traversée par la pénétration de l'escalier de service, est tout entière en granit. Au troisième et au quatrième étage, dans le but de gagner de l'espace, on a substitué aux voûtes une charpente formée de sept poutres en tôle entretoisées et servant de sommiers à de petites voûtes en briques.

La porte d'entrée du phare et les fenêtres extérieures sont exécutées en chêne enduit d'huile de lin cuite. Les fenêtres intérieures, les parquets, les bâtis des lambris, des portes des chambres ou des armoires, les plinthes, les cimaises sont en chêne ciré. Les panneaux sont en sapin également ciré. Les châssis des lucarnes des caveaux et des deux premières fenêtres extérieures de l'escalier sont garnis de verres à hublots, comme ceux qu'on emploie à bord des navires.

Tous les ouvrages de serrurerie sont confectionnés en bronze, la plupart sur modèles spéciaux.

Les trompettes, auxquelles on a recours pour suppléer les phares dans les temps de brume, sont habituellement mises en action par de l'air qui a été comprimé dans un grand réservoir au moyen d'une machine à vapeur. Ici, où

la place faisait défaut, on a adopté une nouvelle disposition imaginée par M. le professeur Lissajoux. L'appareil, qui est nettement représenté sur les dessins, se compose ainsi qu'il suit : 1° deux chaudières à vapeur verticales accouplées (système Field), d'une force totale de quatre chevaux; 2° une trompette avec appareil d'entraînement d'air par jet de vapeur; 3° un mécanisme de distribution mû par la vapeur, destiné à ouvrir et à fermer périodiquement la communication des chaudières avec la trompette, de façon que le son se produise à raison d'un coup par cinq secondes; 4° une horloge commandant le distributeur de vapeur de ce mécanisme.

La trompette se fait entendre au dehors, à travers un pavillon métallique logé dans une ouverture circulaire pratiquée à l'ouest-sud-ouest dans le mur de la tour. La fumée du combustible se dégage par un tuyau en cuivre qui va se greffer sur le tuyau du fourneau de la cuisine, dans la coulisse ménagée à cet effet. Les chaudières ont la pression nécessaire à la mise en marche, vingt minutes, au plus, après l'allumage des feux.

Les chaudières doivent être alimentées à l'eau douce; leur consommation, avec le rhythme adopté pour la trompette, est d'environ 25 litres par heure. L'eau est approvisionnée au moyen de la pompe aspirante et foulante placée dans le caveau ouest du phare, laquelle, puisant l'eau douce dans les bateaux accostés à la roche, la refoule dans les vingt-deux caisses en tôle placées au premier étage, dont la capacité est de 1,250 litres pour l'eau destinée aux gardiens, et de 3,750 litres pour l'eau destinée aux chaudières, qui peuvent ainsi être alimentées pendant cent cin-

quante heures de travail au moins, sans que l'approvisionnement soit renouvelé.

L'eau des caisses est montée à la bâche d'alimentation dans la chambre de la trompette, au moyen d'un appareil injecteur que l'on met en marche par l'ouverture d'un robinet de prise de vapeur placé sur les chaudières.

Les phares sont très-multipliés sur la côte ouest du Finistère, à raison des difficultés et de l'importance de la navigation dans ces parages, et il était essentiel de donner à celui du Four un caractère qui ne permît de le confondre avec aucun autre.

L'appareil lenticulaire de troisième ordre qui fait partie de l'exposition du Ministère des travaux publics, sous le n° XXIX, a été imaginé dans ce but. A un feu fixe durant pendant une demi-minute, il fait succéder pendant le même laps de temps un feu à éclipses, dont les intervalles sont fixés à 3 secondes $\frac{3}{4}$. Il est illuminé par des lampes à trois mèches concentriques, alimentées à l'huile minérale.

Les travaux du phare du Four ont été entrepris en 1869. Les maçonneries étaient complétement terminées à la fin de 1872; les menuiseries et autres ouvrages de détail le seront vers le milieu de 1873, et, avant la fin de l'année, la navigation sera dotée d'un nouvel et précieux éclairage.

Les dépenses totales de la construction, y compris l'appareil optique et la trompette à vapeur, sont évaluées à 265,000 francs, et il ressort des faits acquis que le mètre cube de maçonnerie n'est pas revenu à plus de 150 francs.

Étant donné le régime d'accostage du Four, ce résultat est incontestablement satisfaisant; et, ce qui l'est plus encore, c'est que, bien que la descente sur la roche ait été

souvent tentée dans des conditions bien périlleuses, on n'a eu à déplorer la perte d'aucun ouvrier. Ce n'est pas que les incidents aient manqué : plus d'un homme est tombé à la mer en voulant débarquer; une chaloupe, portant son équipage, a été crevée le long de la roche par un coup de ressac; un manœuvre, montant du mortier sur la tour par une échelle extérieure, a été enlevé par une lame sourde; mais le chantier était muni de tous les moyens de sauvetage désirables, et, en somme, personne ne s'est noyé.

L'édifice a été projeté et exécuté par MM. Planchat, ingénieur en chef, et Fénoux, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, et les chantiers ont été dirigés par M. le conducteur Bouillon.

L'appareil d'éclairage a été exécuté par MM. Henry-Lepaute.

La trompette à vapeur est due à MM. Lissajoux et Flaud.

XXVI.

PHARE D'AR-MEN.

Dessins aux échelles de $0^m,015$ et $0^m,04$.

L'île de Sein, située à l'extrémité occidentale du département du Finistère, se prolonge dans la direction de l'ouest par une suite de récifs qui s'abaissent à mesure qu'ils s'éloignent, et s'étendent à près de 8 milles de distance de l'île. Les uns élèvent leurs cimes au-dessus des plus hautes mers, d'autres couvrent et découvrent alternativement; la plupart sont toujours submergés. Ils constituent une sorte de barrage dont la direction est à peu près normale à celle des courants de marée, et la mer y brise presque constamment avec une violence extrême. Cette singulière formation géologique, connue sous le nom de chaussée de Sein, est tristement célèbre parmi les navigateurs et avait préoccupé la Commission qui fut chargée, en 1825, d'élaborer le programme de notre éclairage maritime.

La solution adoptée à cette époque, et il était impossible alors de proposer mieux, consista à élever deux phares de premier ordre : l'un sur la pointe du Raz, l'autre dans l'île de Sein, pour jalonner la direction de la chaussée. Les navigateurs sont en dehors des dangers et savent de quel côté, quand ils voient les feux à l'ouvert l'un de l'autre, et ils sont prévenus, dès que ces points lumineux sont près de se montrer sur la même verticale, qu'ils doivent se tenir à grande distance au large pour éviter de tomber sur les

écueils. Mais cette distance, rien ne leur permet de l'apprécier; et d'ailleurs il n'est pas besoin d'une brume bien épaisse pour que les phares ne portent pas jusqu'à la limite des dangers et perdent par conséquent toute efficacité. La chaussée de Sein n'a donc pas cessé d'être le théâtre de douloureux sinistres; le système d'éclairage dont elle a été dotée n'a eu pour effet que d'en réduire le nombre, et notre navigation, qui trouve aujourd'hui tant de sécurité sur les autres points du littoral, s'est plainte à plusieurs reprises de cet état de choses.

En avril 1860, la Commission des phares demanda que la question fût examinée, de savoir s'il ne serait pas possible de construire un phare de premier ordre sur l'une des têtes de roches émergeantes les plus rapprochées de l'extrémité de la chaussée. Son avis fut approuvé le 3 juin suivant, et les premières études à faire sur place furent confiées à une commission composée d'ingénieurs et d'officiers de marine. En juillet de la même année, cette commission avait fait un examen sérieux des circonstances locales; elle avait reconnu que trois têtes de roches émergent dans les grandes marées près de l'extrémité, lesquelles portent les noms de Madiou, de Schomeur et d'Ar-Men; que les deux premières découvrent à peine, et que la troisième s'élève à environ $1^{m},50$ au-dessus des plus basses mers. Mais les dimensions d'Ar-Men, que l'état de la mer n'avait pas permis d'accoster, lui ayant paru insuffisantes pour l'assiette d'un grand phare, en même temps qu'il semblait impossible de descendre sur cet écueil, si favorable que pût se montrer l'état de la mer, elle concluait en proposant de s'établir sur la roche Neurlach, à 5 milles en dedans des écueils les plus éloignés. Cette so-

lution fut repoussée par la Commission des phares comme n'étant pas de nature à améliorer l'état actuel des choses autant que l'exigeaient les intérêts de la navigation, et l'Administration de la marine fut priée d'ordonner une reconnaissance hydrographique approfondie de l'extrémité de la chaussée.

Il n'avait pas encore été procédé à ce travail, lorsque l'établissement d'une ligne de paquebots transatlantiques entre le Havre et New-York, avec escale à Brest, vint donner une nouvelle importance au problème et réclamer impérieusement une solution. Les bâtiments de l'État n'essayent pas d'entrer à Brest par les temps de brume; ils se tiennent au large, et cela parfois pendant plusieurs jours consécutifs, jusqu'à ce que l'atmosphère soit assez dépouillée pour qu'ils puissent prendre connaissance des bouées et amers pendant le jour, des feux pendant la nuit. Or cette faculté, les transatlantiques ne l'ont pas; pour eux la promptitude et la régularité des voyages constituent une condition fondamentale. Ils sont donc exposés, en arrivant à Brest, à tomber soit sur l'île d'Ouessant et ses innombrables écueils au nord de la route qu'ils doivent tenir, soit au sud sur la chaussée de Sein; et ce danger est d'autant plus redoutable que la largeur du chenal n'est guère que de 20 milles.

Du côté de l'île d'Ouessant, on a assuré autant que possible la sécurité de la navigation en installant un phare de premier ordre à caractère bien tranché, et une trompette à vapeur sur l'extrémité occidentale de l'île. Le phare a été allumé en 1863, et la trompette fonctionne depuis 1867. En outre, un phare de troisième ordre a été établi sur l'une des Pierres-Noires, groupe d'écueils bordant le chenal à

12 milles environ dans le sud-est du nouveau feu de l'île d'Ouessant; il est muni d'une cloche qui signale la position pendant les brumes.

En même temps qu'elle provoquait l'exécution de ces travaux, la Commission des phares avait demandé que de nouvelles tentatives fussent faites pour arriver à un éclairage convenable de la terrible chaussée, et avait insisté pour qu'il fût procédé à une reconnaissance hydrographique complète de ces parages.

Diverses circonstances ne permirent pas à l'ingénieur hydrographe envoyé sur les lieux, en 1865, d'exécuter ce travail. Une nouvelle tentative, confiée à M. l'ingénieur Ploix l'année suivante, ne fournit pas tous les renseignements désirables, mais permit cependant à la Commission des phares d'arrêter un programme. M. Ploix concluait à une construction sur Ar-Men. « C'est une œuvre excessivement « difficile, presque impossible, disait-il; mais peut-être faut-« il tenter l'impossible, eu égard à l'importance capitale de « l'éclairage de la chaussée. »

Les courants qui passent sur la chaussée de Sein sont en effet des plus violents; ils s'élèvent au delà de neuf nœuds dans les grandes marées, donnent naissance, même par les temps les plus calmes, à un fort clapotis, et rendent la mer très-grosse dès que la brise pousse dans une direction opposée à la leur. Aucune terre n'abrite la roche contre les vents compris entre le nord et l'est-sud-est en passant par le sud, et elle n'est accostable que par de très-faibles brises contenues entre le nord et l'est.

Mouiller un feu flottant à l'extrémité de la chaussée avait été reconnu impossible, tant à cause de la grande profon-

deur d'eau qu'eu égard à la nature du fond, qui est parsemé de têtes de roches sur lesquelles s'enroulerait la chaîne de retenue. On ne pouvait songer non plus à établir sur ce point une construction métallique reposant directement sur l'écueil : le percement de trous, profonds de 18 à 20 centimètres de diamètre, qu'exigerait le scellement des montants serait une opération des plus difficiles et de bien longue durée; les principaux plans de clivages de la roche étant verticaux, il serait à craindre qu'elle ne résistât pas aux ébranlements qu'elle aurait à supporter; enfin, il serait presque impossible de débarquer des pièces de fer, nécessairement lourdes et difficiles à manier, et l'on serait exposé à en perdre plusieurs avant de parvenir à les mettre en place. La Commission des phares émit en conséquence l'avis, dans sa séance du 29 novembre 1866, qu'il fallait essayer d'établir un massif en maçonnerie sur la roche Ar-Men, en lui donnant de telles dimensions qu'il pût servir ultérieurement de base à un phare.

Ni la commission de 1860, ni les ingénieurs hydrographes, ni les ingénieurs du département, ni leurs marins, ni le directeur du service des phares n'étaient encore parvenus à descendre sur la roche. M. Ploix n'avait pas pu s'en approcher à moins de 15 mètres; mais M. l'ingénieur Joly avait réussi à la ranger de plus près, et les dessins qu'il avait pris, et complétés sur les indications des pêcheurs de l'île de Sein qui l'accompagnaient, permettaient de présenter un système de construction à titre de point de départ. On savait que la roche avait une largeur de 7 à 8 mètres au niveau des basses mers sur une longueur de 12 à 15 mètres; que sa surface était fort inégale; qu'elle était

divisée par de profondes fissures, et que, presque accore du côté de l'est, elle s'inclinait en pente douce à l'opposé. Bientôt le syndic des gens de mer de l'île annonça qu'une nouvelle tentative faite par lui dans des circonstances favorables avait été couronnée de succès, et il envoya un échantillon qui montra que la roche est formée d'un gneiss assez dur, sauf en quelques points où il y a décomposition.

Le mode de construction auquel on s'arrêta est le suivant : percer dans la roche, sur tout l'emplacement que doit couvrir l'édifice, des trous de fleuret de 30 centimètres de profondeur, espacés de mètre en mètre environ, et quelques autres en dehors de cette limite : ces derniers, appelés à recevoir des organeaux pour faciliter les accostages ou tenir des haubans; les premiers, destinés au scellement de goujons en fer ayant pour objet, à la fois, de fixer la maçonnerie au rocher, et de faire servir la construction elle-même à relier entre elles les diverses parties de cette roche fissurée, et à consolider ainsi une base qui n'inspirait qu'une confiance limitée. Il était dit en outre que d'autres goujons verticaux et de vigoureuses chaînes horizontales en fer seraient introduits dans la maçonnerie au fur et à mesure qu'elle s'élèverait, de manière à s'opposer à toute disjonction.

Pour le percement des trous, on s'adressa aux pêcheurs de l'île de Sein, dont l'industrie s'exerce au milieu de toutes les roches de la chaussée, et qui étaient, par conséquent, mieux que personne à même de profiter de toutes les occasions favorables. Après bien des difficultés, ils acceptèrent un marché à forfait, l'Administration leur fournissant les outils et des ceintures de sauvetage.

Ils se mirent résolûment à l'œuvre en 1867. Dès qu'il y

avait possibilité d'accoster, on voyait accourir des bateaux de pêche; deux hommes de chacun descendaient sur la roche, munis de leur ceinture de liége, se couchaient sur elle, s'y cramponnant d'une main, tenant de l'autre le fleuret ou le marteau, et travaillaient avec une activité fébrile, incessamment couverts par la lame, qui déferlait par-dessus leurs têtes. L'un d'eux était-il emporté? la violence du courant l'entraînait loin de l'écueil contre lequel il se serait brisé, sa ceinture le soutenait, et une embarcation allait le prendre pour le ramener au travail. A la fin de la campagne, on avait pu accoster sept fois, on avait eu en tout huit heures de travail, et quinze trous étaient percés sur les points les plus élevés. C'était un premier pas vers le succès. L'année suivante, on se trouvait en présence de plus grandes difficultés, puisqu'il fallait se porter sur des points qui découvraient à peine, mais on avait acquis de l'expérience; des prix plus forts accrurent l'ardeur au travail, la saison fut favorable, on eut seize accostages, dix-huit heures de travail, et l'on parvint à percer quarante nouveaux trous; on put même exécuter les dérasements partiels nécessaires à l'établissement de la première assise des maçonneries.

La construction proprement dite fut entreprise en 1869. Des goujons en fer galvanisé, de 6 centimètres d'équarrissage et de 1 mètre de longueur, furent implantés dans les trous, et l'on maçonna d'abord en petits moellons bruts et ciment de Parker-Médina. Il fallait, en effet, une prise des plus rapides, car on travaillait au milieu des lames qui venaient se briser sur la roche et qui parfois arrachaient, de la main de l'ouvrier, la pierre qu'il se disposait à placer.

Un marin expérimenté, adossé contre un des pitons du rocher, était au guet, et l'on se hâtait de maçonner quand il annonçait une accalmie, de se cramponner quand il prédisait l'arrivée d'une grosse lame. Les ouvriers, le conducteur, l'ingénieur, qui encourageait toujours les travailleurs par sa présence, étaient d'ailleurs munis, comme l'avaient été les pêcheurs, de ceintures fournies par la Société de sauvetage des naufragés, et d'espardilles destinées à prévenir les glissements.

Toutes les fois que l'état exceptionnel de la mer présentait quelques chances de débarquement, une petite chaloupe à vapeur, portant le personnel et la quantité de matériaux qu'on espérait pouvoir mettre en place dans la marée, partait de l'île, de manière à arriver en vue de la roche vers quatre heures de jusant, et elle remorquait les canots d'accostage; mais on ne trouvait pas toujours au large le calme sur lequel on comptait, et la journée était perdue. Quand on pouvait accoster, on débarquait à la main les pierres et les petits sacs de ciment, et l'on avait soin, avant de bâtir, de piquer à vif la surface sur laquelle devait s'établir la nouvelle maçonnerie. Il est sans doute inutile d'ajouter que le ciment était employé pur; on le gâchait à l'eau de mer.

A la fin de la campagne de 1869, on avait exécuté 25 mètres cubes de maçonnerie, que l'on retrouva intacts l'année suivante.

Aujourd'hui, le cube des maçonneries s'élève à $114^{m},50$; elles dominent de $1^{m},50$ la tête la plus saillante de la roche, et il y a lieu d'espérer que le niveau des plus hautes mers sera dépassé avant la fin de l'année. Le succès de l'entre-

prise paraît actuellement assuré, et l'on compte marcher désormais plus rapidement que par le passé. On a amélioré, en effet, les conditions d'accostage et de débarquement, en établissant sur le piton du sud-ouest une plate-forme en maçonnerie qui se rattache à la construction, et à laquelle on a le projet de donner encore plus de développement. On est parvenu, en outre, à fermer la profonde fissure dans laquelle s'engouffraient les lames pour rejaillir ensuite. Dès l'année dernière, on a pu éviter les transbordements qui se faisaient de la chaloupe à vapeur dans de petits canots, et faire accoster d'assez forts bateaux, chargés dans l'île, remorqués par cette chaloupe, et munis d'un mât de charge pour débarquer les matériaux.

Depuis 1871, le ciment de Portland, dont la résistance à la décomposition par l'eau de mer paraît bien établie, a été substitué au ciment Parker, qui ne présente pas le même mérite; et l'on compte préserver les maçonneries du pied de la construction par des rejointoyements exécutés en même matière, peut-être par une enveloppe continue.

Des expériences, faites sur l'adhérence que les pierres du pays contractent avec le mortier, ayant fait reconnaître que la roche amphibolique de Kersanton était la meilleure de toutes sous ce rapport, comme sous beaucoup d'autres d'ailleurs, elle a été employée exclusivement à l'exécution des maçonneries. Les moellons de parement sont smillés, ceux de remplissage sont dans l'état où les fournit la carrière; tous sont de petites dimensions.

Des goujons, des tirants et des ceintures en fer galvanisé sont noyés dans les maçonneries, afin de prévenir les disjonctions.

D'après le programme adopté, le phare sera de premier ordre, à feu scintillant; on élèvera son foyer à 30 mètres au-dessus du niveau des plus hautes mers. On eût dépassé cette limite, si l'on n'avait été arrêté par l'insuffisance du diamètre à la base.

Le massif plein qui constitue le soubassement se prolongera jusqu'à ce niveau avec le diamètre de $7^{m},20$, auquel la largeur du rocher a obligé de se restreindre, avec celui de $6^{m},80$ sur les deux mètres suivants. Le diamètre intérieur de la tour variera de 3 mètres dans le bas à $3^{m},30$ dans le haut, au moyen de retraites successives, et l'épaisseur du mur passera de $1^{m},75$ dans le bas à $0^{m},80$ au-dessous de la corniche de couronnement. Il y aura sept étages dans la hauteur de l'édifice, dont l'un sera consacré à l'appareil sonore destiné à signaler la position dans les temps de brume.

Le tableau ci-après fait connaître, en reproduisant quelques-uns des chiffres déjà donnés, les principaux faits relatifs aux travaux exécutés.

ANNÉES.	NOMBRE D'ACCOSTAGES.	TEMPS PASSÉ sur la roche.	TRAVAUX EXÉCUTÉS.	DÉPENSES.
1867.....	7	8^{h}	15 trous percés.	$8,000^{f}$
1868.....	16	18	40 *id.* et dérasement.	21,000
1869.....	24	42 10′	25^{mc} 00	23,000
1870.....	8	18 5′	11 55	26,336
1871.....	12	22 10′	23 40	17,000
1872.....	13	34 20′	54 55	40,000
TOTAUX.....	80	142^{h} 45′	114 50	$135,336^{f}$

On voit que les dépenses sont considérables par rapport au cube des maçonneries exécutées. Elles l'eussent été bien davantage encore et eussent atteint même à un taux tout à fait inadmissible, si l'on n'avait trouvé moyen d'employer utilement les ouvriers dans les longs intervalles des accostages. Deux autres chantiers sont ouverts, l'un dans l'île pour la construction de digues de défense, l'autre sur un îlot voisin pour l'établissement d'un phare de quatrième ordre, qui complétera l'éclairage de ces dangereux parages. On se rend à Ar-Men dans les calmes exceptionnels, on reste dans l'île quand la mer est grosse, et l'on se transporte sur l'îlot dans les états intermédiaires.

Ce travail a été conçu et arrêté, en ce qui est essentiel, par M. Léonce Reynaud, directeur du service des phares. Il a été exécuté, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Planchat, par MM. les ingénieurs Joly, de 1867 à 1868, et Cahen, depuis 1869 jusqu'à présent. MM. Lacroix, conducteur principal, et Probesteau, conducteur auxiliaire, ont été successivement chargés de la surveillance de l'œuvre.

On regrette, car il n'y aurait que justice à le faire, de ne pouvoir ajouter à ces noms ceux de ces braves marins et ouvriers bretons, qui, inconscients de leurs titres à l'admiration, ont, à force d'énergie et de dévouement, assuré le succès d'une entreprise plus hardie, plus téméraire, pourrait-on dire, qu'aucune de celles du même genre.

XXVII.

PHARE DE LA PALMYRE.

Dessins aux échelles de $0^m,02$, $0^m,04$ et $0^m,20$.

Tour et dépendances. — Le phare de la Palmyre est situé au milieu des dunes de la rive droite de la Gironde, à cinq milles en dedans de la pointe de la Coubre. Il est destiné à éclairer, concurremment avec le phare établi sur cette pointe, le premier alignement de l'entrée de la passe nord de l'embouchure du fleuve, et à faire éviter le banc de la Mauvaise, dont la marche lente et progressive vers le nord-nord-est a conduit à changer l'alignement, devenu dangereux, qui balisait autrefois cette passe.

On n'a pas jugé qu'il convînt d'élever en cet endroit une construction en maçonnerie, tant à raison des difficultés que devait présenter le transport des matériaux, qu'en prévision de déplacements ultérieurs de la passe pouvant exiger la translation du phare. Cette dernière considération avait déjà engagé à exécuter en charpente un grand phare des mêmes parages : celui de Pontaillac. On s'est décidé en faveur d'une tour métallique disposée suivant un nouveau système imaginé par M. Lecointre, ingénieur de la marine et de la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée.

Le fût de la tour se compose essentiellement de neuf tubes

cylindriques de $2^m, 80$ de hauteur chacun, ajustés les uns sur les autres et formant ensemble une cage d'escalier de 2 mètres de diamètre intérieur. Ces tubes, du poids de deux tonnes, sont composés de six feuilles de tôle de 10 millimètres d'épaisseur, reliées par des couvre-joints verticaux extérieurs au moyen de rivures, et bordées à leurs extrémités supérieure et inférieure par deux cornières de $\frac{120 \times 120}{10}$ rivetées sur ces feuilles. Des boulons permettent de réunir chaque tube à celui qui le précède et à celui qui le suit.

Dans chaque élément du fût, l'escalier est éclairé par une petite fenêtre ménagée dans la tôle, et se compose de seize marches en tôle striée de 80 centimètres de longueur moyenne fixées sur deux cours de cornières posés, l'un sur la surface intérieure du tube, l'autre sur un noyau cylindrique creux de 40 centimètres de diamètre extérieur.

L'ensemble des neuf tubes forme une colonne de $25^m, 20$ de hauteur, qui est rendue solidaire avec un massif de fondation en béton de 3 mètres d'épaisseur, coulé dans le sable au sommet de la dune sur laquelle repose le phare. La liaison du tube à ce massif s'opère à la fois au sommet et à la base. A cet effet, des boucliers en fonte à nervures, encastrés dans les couches inférieures du bloc de béton, servent de points d'attache à des boulons qui traversent toute l'épaisseur de ce massif, et dont les têtes s'engagent dans les patins fixés, d'une part, à la base du premier tube inférieur par un rivetage, et assujettis, d'autre part, par un double système d'écrous, à ces boulons. Ce mode d'assemblage, employé pour relier la base de la tour à sa fondation, est également utilisé pour rattacher l'ensemble des deux tubes supérieurs de la colonne au même massif. A cet effet, trois

jambes de force, tubulaires, exécutées en tôle, sont rivetées au moyen de cornières elliptiques, aux huitième et neuvième tubes, et sont fixées à leur pied à des boucliers, comme ceux qui maintiennent la colonne.

Le massif de béton affecte en plan la forme d'un Y équilatéral, dont chaque branche a 4 mètres de largeur et se termine par un demi-cercle, dont le centre est à 5 mètres de l'axe de la tour. La colonne centrale, maintenue par six boulons de 7 centimètres de diamètre et de $3^m,67$ de longueur, repose sur un socle monolithe vertical de 40 centimètres de hauteur. L'axe de chacune des trois jambes de force rencontre la surface du massif de béton au centre de la circonférence qui termine chaque branche de l'Y. Ces arcs-boutants sont fixés à leur base par quatre patins, au moyen d'un même nombre de boulons de 7 centimètres de diamètre et de $3^m,67$ de longueur, engagés, comme ceux du centre, dans des boucliers en fonte. Ces quatre patins reposent sur un socle cylindrique, faisant corps avec le massif de béton, et dont la surface est normale à la direction de l'arc-boutant. Les boulons de fondation sont respectivement parallèles aux jambes de force qu'ils sont appelés à fixer. Les éléments cylindriques des arcs-boutants et du noyau de l'escalier s'emboîtent les uns dans les autres, de façon que l'extrémité supérieure de chaque élément soit recouverte, sur 10 centimètres environ de longueur, par la partie inférieure de l'élément qui la surmonte; ces assemblages sont maintenus par des rivures.

La colonne occupée par l'escalier est surmontée d'une construction cylindrique de $4^m,20$ de diamètre intérieur, divisée en trois parties : la chambre de service, la chambre

de l'appareil, et la toiture. Une galerie extérieure de 90 centimètres de large, à laquelle on accède par la chambre de service, permet de circuler autour de l'édifice; elle est supportée par des consoles et accompagnée d'un garde-corps en tôle non évidée.

Cette partie supérieure est formée de douze feuilles de tôle assemblées à l'intérieur par des cornières verticales. Chacun de ces segments cylindriques est recouvert au dedans par un panneau en bois de teck, de 4 centimètres d'épaisseur. La chambre de service a 3 mètres de hauteur : elle contient le tambour d'arrivée de l'escalier de la tour, un réduit servant de chambre de repos pour les gardiens, et un petit magasin pour le matériel; une échelle en fer forgé la met en communication avec la chambre de l'appareil. Une petite galerie extérieure est située au-dessous de cette dernière chambre : elle a pour but de permettre le nettoyage journalier de la glace qui donne passage aux rayons lumineux. Une cheminée verticale en tôle, de 80 centimètres de diamètre, permet de se rendre de la chambre de l'appareil au sommet de la toiture, sur laquelle il est possible, en traversant un trou d'homme, d'exécuter les réparations qui peuvent devenir nécessaires. On a de même ménagé, au moyen de crochets fixés sur la toiture et d'ouvertures réservées dans le plancher de la plate-forme inférieure de la lanterne, la possibilité d'établir un échafaudage extérieur mobile pour renouveler, sur toutes les surfaces de la tour, les peintures destinées à protéger le métal contre l'oxydation.

La maison des gardiens et les servitudes dépendant de l'établissement sont établies sur les pentes abruptes de la

dune, à peu de distance du phare : ces constructions sont exécutées en briques.

La maison, double en profondeur, comprend, dans un pavillon central, un vestibule et un salon de réception disposé de façon à servir de chambre pour l'ingénieur chargé de la surveillance du service. Les deux logements des gardiens, situés, l'un à droite et l'autre à gauche du pavillon, se composent chacun de quatre pièces : une cuisine, deux chambres et un cabinet.

Les dépendances comprennent un hangar, un magasin aux huiles, deux chaix et des lieux d'aisances.

Un chemin d'accès, d'environ 2 kil. $\frac{1}{2}$ de longueur, a été construit pour le transport à pied-d'œuvre des tubes et appareils; destiné à combler une lacune existant entre le phare et la ligne la plus proche du réseau des routes forestières de la pointe de la Coubre, il met l'établissement en communication avec le port de Royan. Les travaux de ce chemin, ouvert au milieu des sables, durent être principalement exécutés pendant la nuit, à cause de la chaleur excessive qui se concentre dans les dunes pendant la belle saison, et de la lumière éblouissante qui rendait le chantier inabordable pendant le jour.

La pose des boucliers d'attache, des boulons de serrage et du massif de fondation n'a présenté aucune difficulté : on s'est servi de panneaux, surtout pour déterminer avec exactitude l'inclinaison des pièces de liaison des trois jambes de force de la tour. Pour faciliter l'ajustage ultérieur de l'édifice sur sa base, ces boulons furent d'abord isolés du bloc de béton par des tubes en poterie noyés dans le massif, qui permirent de leur réserver une certaine mobilité : et

ils furent ensuite scellés au ciment de Portland, après la mise en place du premier tube et des arcs-boutants.

Le montage et l'ajustage des diverses pièces métalliques se sont opérés au moyen d'un appareil mobile qui s'élevait avec la tour.

La hauteur totale de l'édifice est de 37 mètres, et celle du plan focal de 30 mètres au-dessus du sol.

Les travaux ont été exécutés en 1869 et 1870.

Le traité conclu entre l'Administration des phares et la Société nouvelle des forges et chantiers de la Méditerranée, pour la fourniture et le montage de toutes les pièces de la tour, a été approuvé le 8 mai 1869. Le chemin d'accès, commencé dès cette époque, était ouvert le 31 août suivant. Vers la fin de septembre, la fondation du phare était terminée, et le 1er décembre, lorsque les agents de la compagnie vinrent sur les lieux pour commencer l'opération du montage, ils prirent possession de la maison des gardiens, qui était également achevée.

Le phare a été allumé, pour la première fois, le 1er septembre 1870.

Les dépenses se sont élevées à la somme de 134,268f,55c et se décomposent comme suit :

Chemin d'accès	27,752f 38c
Fondations, maison des gardiens et servitudes	29,935 37
Tour en métal	76,580 80
Total pareil	134,268f 55c

Appareil d'éclairage. — Le phare de la Palmyre concentre ses rayons lumineux dans un espace angulaire de 45°,

et se montre alternativement rouge et vert pendant des intervalles de vingt secondes, sans éclipses interposées.

L'appareil se compose d'une lentille dioptrique et catadioptrique, de feu fixe, embrassant un angle de 150°, d'un réflecteur catadioptrique placé dans l'angle opposé au précédent, et de deux groupes de prismes verticaux disposés en avant de l'appareil de feu fixe, dans l'espace situé de chaque côté de l'axe, en dehors de l'angle qu'il s'agit d'éclairer. Ces éléments ont été calculés de manière à concentrer la lumière émanée du feu fixe, et à la répartir aussi uniformément que possible dans l'angle utile de 45°.

Entre l'appareil de feu fixe et les lentilles verticales se trouve un écran circulaire formé de trois lames de verre embrassant chacune 75°; les deux lames extrêmes sont rouges, celle du milieu est verte. L'armature qui porte cet écran reçoit un mouvement d'oscillation intermittente, par suite duquel le feu passe rapidement d'une couleur à l'autre, et conserve pendant un temps déterminé une couleur constante.

L'appareil est posé sur un socle en tôle et fonte, à l'intérieur duquel une machine, actionnée par un poids, donne un mouvement de rotation uniforme à un arbre vertical. L'uniformité de ce mouvement est assurée par un régulateur Foucault. Sur l'arbre, est fixé un plateau horizontal portant une rainure, laquelle est formée de deux arcs de cercle de rayons différents, concentriques à l'arbre vertical, opposés l'un à l'autre et raccordés entre eux par des lignes sinueuses. Un petit galet, attaché au support oscillant des écrans, pénètre dans cette rainure et y reste immobile tant qu'il se trouve dans l'une des deux parties circulaires; mais quand

le mouvement de rotation de l'arbre amène le galet en contact avec l'une des lignes de raccordement, il est obligé de se mettre en marche jusqu'à ce qu'il arrive à l'autre arc de cercle, le long duquel il reste de nouveau immobile.

Il en résulte que l'écran décrit un angle de 75° en quatre secondes, qu'il reste en repos pendant seize secondes, et qu'il exécute ensuite un mouvement d'oscillation opposé, pour rester de nouveau immobile. Ce mouvement amène successivement devant chaque partie de l'appareil, tantôt l'écran vert, tantôt l'un des deux écrans rouges, de manière à produire le caractère assigné au feu.

Le phare est illuminé par une lampe à huile minérale, avec bec à trois mèches.

Les dispositions d'ensemble de la tour métallique et de ses fondations ont été arrêtées par M. l'inspecteur général Reynaud, directeur du service des phares, sur les propositions de M. Lecointre, ingénieur en chef de la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée. Les projets relatifs à l'ouverture du chemin d'accès et à la construction des dépendances et des fondations du phare ont été dressés, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Marchegay, par M. Lasne, ingénieur ordinaire.

Ces divers travaux ont été exécutés sous la surveillance de M. le conducteur Sauvion.

L'appareil lenticulaire a été composé et calculé par M. Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'appareil et la machine de rotation ont été exécutés par MM. L. Sautter, Lemonnier et Cie, constructeurs de phares, à Paris.

La lampe à huile minérale a été fabriquée par MM. Barbier et Fenestre, constructeurs de phares, à Paris; le bec est du système Doty.

La dépense de l'appareil, y compris ses accessoires, s'est élevée à 8,826 fr. 50 cent.

XXVIII.

PHARE DE SAINT-PIERRE DE ROYAN.

Dessins à l'échelle de $0^m,04$.

L'embouchure de la Gironde présente deux passes distinctes orientées dans des directions à peu près perpendiculaires : l'une, la passe du Nord, large et profonde, est plus fréquentée; l'autre, la passe du Sud, quoique moins praticable pour la grande navigation, présente cependant de grands avantages, même pour les navires d'un fort tonnage, quand on l'aborde par des vents de sud et vers l'étale de pleine mer.

Les deux phares de Saint-Pierre de Royan et du Chay, construits à 2 kilomètres de distance l'un de l'autre, sont destinés à éclairer cette dernière passe et à remplacer avantageusement, sur la rive droite du fleuve, deux des anciennes balises qui ne pouvaient servir que pendant le jour. Pour n'apporter aucune confusion dans l'éclairage de cette embouchure, déjà pourvue d'un grand nombre de feux, les deux phares indiqués n'envoient leur lumière que dans un espace angulaire très-restreint : les appareils, installés dans les chambres supérieures des édifices, devant les fenêtres ouvertes dans la direction de cette passe, consistent en réflecteurs sphériques qui reportent les rayons lumineux du foyer sur des lentilles convergentes à échelons, dont les axes optiques parallèles sont situés dans le plan vertical de l'aligne-

ment à suivre. Il n'y a qu'un appareil d'éclairage dans le phare du Chay; il y en a deux dans celui de Saint-Pierre, à raison de son plus grand éloignement de la mer. Tous ces feux sont fixes et rouges.

Les édifices consistent en des tours en maçonnerie, de forme rectangulaire, qui offrent une même distribution intérieure; le plus important est celui de Saint-Pierre.

Le plan de cette construction affecte la forme d'un carré parfait, dont la dimension intérieure est de 5 mètres dans toute la hauteur de la tour; un petit mur de refend de 20 centimètres servant d'échiffre, parallèle au mur de face, sépare la cage de l'escalier, dont la largeur est de 2 mètres, de la chambre réservée à chaque étage sur la façade. Ces chambres, au nombre de huit, y compris celle du rez-de-chaussée, ont par suite $2^{m},80$ de largeur sur 5 mètres de longueur.

Le rez-de-chaussée sert en même temps de vestibule et de salon de réception ; le magasin des huiles est au premier étage ; les 2e, 3e, 4e et 5e étages sont réservés au logement du gardien et de sa famille ; la chambre de service et celle de l'appareil se trouvent au sommet de la construction.

Cet édifice est appelé à servir d'amer pendant le jour; et afin de le rendre plus visible et de prévenir en même temps toute confusion avec les clochers de la ville de Royan, on l'a élargi à sa partie supérieure au moyen de murs en aile établis en encorbellement sur $1^{m},50$ de chaque côté. On l'a couvert en outre de larges bandes horizontales, alternativement rouges et blanches. L'espèce de voyant qui couronne la tour, devant se détacher sur le ciel, est peint en rouge sur la totalité de sa hauteur.

L'édifice est construit en pierres de taille et moellons des carrières du département de la Charente-Inférieure. Le soubassement, le large voyant, les chaînes angulaires et les encadrements des ouvertures situées sur les deux façades principales, ont été exécutés en pierres de taille dures provenant des carrières de Crazanne, sur les rives de la Charente. Dans toutes les autres parties des parements intérieurs et extérieurs, on a employé des pierres extraites des carrières du Carlot et de Saujon ; enfin, on s'est servi, pour les maçonneries de remplissage des fondations et du gros œuvre, des moellons durs des carrières du Conseil, près Royan. Le transport de tous ces matériaux s'est effectué à pied-d'œuvre, sans aucune difficulté.

Le système de montage était d'une grande simplicité : un plancher mobile, posé sur une des dernières assises, supportait un treuil au moyen duquel on élevait facilement, dans des caisses ou sur des plateaux, les moellons et le mortier ; une petite chèvre, reposant directement sur la maçonnerie, permettait le déplacement du treuil et des pièces de cette plate-forme, qui servait en même temps d'échafaudage pour les ouvriers.

La construction du voyant a exigé l'emploi de fortes pierres de taille qu'il fallait monter à une grande hauteur ; pour l'élévation de ces blocs, on se servait d'un fort palan assujetti à deux tréteaux solidaires reposant sur le sommet des maçonneries, et dont le garant de traction venait, au moyen d'une poulie de renvoi fixée à la base de la tour, s'enrouler sur un cabestan placé à 20 mètres environ du soubassement, dans le chantier organisé autour de la construction.

La couverture est métallique ; elle se compose de feuilles

de tôle galvanisée, fixées sur des poutrelles de fer laminé encastrées dans les murs de tête.

L'escalier, complétement en charpente, comprend pour chaque étage deux volées droites parallèles au petit mur de refend; toutes les volées commencent et se terminent par des paliers. Ceux-ci, de même que les marches, sont exécutés en sapin du Nord avec encadrements en chêne.

Des poutrelles à double T en fer laminé, encastrées dans le mur de façade et dans le mur de refend, supportent les planchers, qui sont exécutés en charpente.

On a ouvert le chantier de ce phare, en même temps que celui du phare du Chay, dans le mois de septembre 1869. Malgré les événements, les travaux avaient été poursuivis avec activité en 1870; mais, vers la fin de cette campagne, ils se ralentirent à raison des atteintes que la guerre avait fait subir à la situation financière de l'entrepreneur, et durent être continués et achevés en 1872 par voie de régie.

Les deux phares seront allumés le 15 juin 1873.

Le projet a été rédigé, d'après les dessins de M. l'inspecteur général Reynaud, par M. Lasne, ingénieur ordinaire, sous la directien de M. l'ingénieur en chef Marchegay.

Les travaux ont été conduits par M. Sauvion, conducteur des ponts et chaussées.

XXIX.

APPAREIL LENTICULAIRE DE TROISIÈME ORDRE

ET APPAREIL LENTICULAIRE POUR FEUX DE DIRECTION.

1° Appareil de troisième ordre. — Cet appareil, destiné au phare du Four (Finistère), présente un caractère tout nouveau. A un feu fixe blanc pendant une demi-minute, il fait succéder, pendant la demi-minute suivante, huit éclats dont l'intervalle est par conséquent de 3 secondes $\frac{3}{4}$.

A mesure que le nombre des phares s'est multiplié sur les côtes de France, il est devenu plus difficile de leur donner des caractères tranchés. La Commission des phares n'avait admis, dans son programme de 1825, que trois caractères différents pour les phares de premier ordre : le feu fixe, le feu à éclipses se succédant de minute en minute, et le feu à éclipses de demi-minute en demi-minute. Elle avait en outre conservé la combinaison anciennement appliquée auprès du Havre, et consistant à allumer deux feux à côté l'un de l'autre. Un caractère, qui avait d'abord été réservé pour les feux de second et de troisième ordre, a été ultérieurement attribué à quelques phares de premier ordre ; c'est le feu varié par des éclats à 3 ou 4 minutes d'intervalle. Un autre système, adopté récemment sous le nom de feu scintillant, consiste à produire des éclats se succédant rapidement à quelques secondes d'intervalle. Enfin, la coloration de la lumière a été appelée à donner de nou-

veaux caractères distinctifs, et l'on a eu successivement le feu fixe blanc varié par des éclats rouges, le feu à éclipses avec éclats alternativement rouges et blancs, le feu à éclipses avec deux éclats blancs succédant à un éclat rouge. D'autres combinaisons ont encore été adoptées pour les feux de second et de troisième ordre; comme le feu fixe rouge, le feu rouge à éclipses, le feu alternativement blanc et rouge avec ou sans éclipses, le feu alternativement blanc, rouge, blanc et vert. Cette énumération fait voir combien on s'est ingénié à varier les apparences des phares.

Lorsqu'il s'est agi de fixer le caractère qui serait attribué au nouveau phare projeté sur la roche du Four, aux abords de Brest, on a éprouvé quelque embarras. Les feux sont en effet très-nombreux dans ces parages, et la plupart des caractères en usage s'y trouvent appliqués. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer qu'il ne suffit pas de différencier deux feux voisins par un détail secondaire dans les apparences qu'ils présentent; il faut, si l'on veut éviter toute chance de confusion, que la différence soit très-tranchée.

On a donc été conduit à imaginer, pour le phare du Four, une combinaison n'ayant pas encore été appliquée, et c'est ainsi qu'on est arrivé à ce caractère de feu alternativement fixe et scintillant décrit ci-dessus.

L'appareil d'éclairage est de troisième ordre, et a 1 mètre de diamètre; il se compose de deux parties différentes, occupant chacune une moitié de la circonférence. La première partie est un appareil de feu fixe ordinaire ; la seconde partie comprend huit panneaux annulaires complets, occupant chacun $\frac{1}{16}$ de circonférence et destinés à produire les huit éclats du feu scintillant.

La machine de rotation est placée dans le socle de l'appareil ; elle a reçu les dispositions particulières adoptées pour les appareils tournant rapidement. La rotation de l'appareil du Four se fait en une minute.

La lampe est à mouvement d'horlogerie, avec bec à trois mèches disposé pour brûler de l'huile minérale.

L'intensité de la lampe est de 14 becs Carcel; celle du feu fixe est de 250 becs, et celle de l'un des éclats du feu scintillant atteint 1,000 becs dans l'axe.

Le prix de l'appareil, lampes et machine comprises, est de 17,300 francs.

2° Appareil pour feux de direction. — Cet appareil a 375 millimètres de diamètre intérieur. Il comprend une lentille annulaire et un réflecteur catadioptrique. La lentille annulaire est formée de 3 éléments dioptriques et de 7 anneaux catadioptriques embrassant une circonférence entière, sauf les deux derniers anneaux, qui sont coupés suivant un plan horizontal passant à 30 centimètres en contre-bas du foyer. Le réflecteur catadioptrique occupe un angle de 180° et est composé de 9 anneaux à double réflexion totale; il est en deux parties, dont l'une forme portière pour permettre le service de la lampe.

La lampe est à niveau constant, avec bec à une mèche, disposé pour brûler de l'huile minérale.

Cette lampe donne une intensité de 2,2 becs Carcel; l'intensité du feu est de 700 becs dans l'axe, et la divergence horizontale est de 9 degrés.

Le prix de l'appareil, y compris les lampes, est de 5,130 francs.

Ces deux appareils ont été exécutés suivant les projets et sous la direction des ingénieurs du service central des phares : MM. Léonce Reynaud et Allard.

Constructeurs : MM. Henry-Lepaute, à Paris.

Contre-maître : M. Docker.

XXX.

TOURELLE ET CANDÉLABRE POUR FEUX DE PORT.

Deux modèles à l'échelle de $\frac{1}{10}$.

La tourelle a été disposée dans le but de réaliser le mode de construction le plus simple, le plus économique, présentant en même temps les plus grandes facilités de transport et d'installation.

Elle repose sur un tourteau en fonte d'une seule pièce, fixé par six boulons soit à la maçonnerie, soit aux pièces de charpente de la jetée.

La construction se compose d'un cylindre en tôle rivée de $1^{m},40$ de diamètre et de $6^{m},40$ de longueur, avec marches intérieures en tôle striée, s'appuyant à l'intérieur sur une colonne ou noyau central en fonte, à oreilles; et à l'extérieur, sur l'enveloppe, au moyen de cornières rivées. Le cylindre et l'escalier forment un tout, ne se démontant pas, qui ne dépasse pas la longueur réglementaire imposée par les tarifs de transport sur chemin de fer, et qu'il est facile de manœuvrer et de dresser au moyen d'une chèvre.

Des nervures et des consoles en fonte boulonnées contre le cylindre, supportant une galerie de service à jour en fonte et une balustrade en fer forgé, puis une murette cylindrique en tôle servant de support à la lanterne, complètent la construction de la tour proprement dite.

La lanterne est en bronze; elle est surmontée d'une coupole en cuivre rouge, et elle porte des glaces cylindriques.

A la base du candélabre sur lequel se pose l'appareil, un palier tournant, en fonte, facilite au gardien le nettoyage des glaces, sans obstruer d'une manière permanente le passage de l'escalier.

Après la mise en place du cylindre et de la murette, à l'aide d'une chèvre, le montage de toutes les autres pièces, relativement légères, dont la construction se compose, s'opère facilement au moyen d'une moufle suspendue à un madrier faisant saillie en dehors de la murette, et y étant solidement attachée par des cordes.

Le poids de la tourelle proprement dite, de sa plaque de fondation et de sa murette, est d'environ 6,500 kilogr.

Le prix de la construction, y compris la lanterne, son vitrage et le candélabre qui supporte l'appareil, est de 9,300 francs, à Paris.

Le candélabre permet de placer un feu de port à l'extrémité d'une jetée très-étroite, de le hisser pendant la nuit à une hauteur pouvant aller jusqu'à huit mètres, et de l'abriter pendant le jour, et au moment de l'allumage, dans une cabane en tôle fermant à clef.

Cette cabane porte deux montants verticaux en tôle et en cornières, au sommet desquels se fixe une poulie montée sur chape en fonte.

Deux guides en fer demi-rond s'élèvent verticalement le long de ces montants; ils sont tenus, en haut, par deux bras en fer partant du sommet des montants; en bas, par une table en tôle et fer qui fait saillie en dehors de la cabane.

C'est sur cette table extérieure qu'on fait rouler l'appareil quand on veut le hisser. Il est pourvu d'oreilles, dans lesquelles s'engagent les fers demi-ronds qui le guident dans son ascension et le maintiennent quand il est arrivé en haut.

La face de la cabane, qui regarde la table de service et les guides, est percée d'une ouverture suffisante pour le passage du fanal, et fermée par deux volets ouvrant en dedans.

Au-dessus de cette ouverture, et en dedans de la cabane, est le petit treuil en fonte, avec frein, sur lequel s'enroule la chaîne de hissage.

Une table intérieure reçoit l'appareil quand il n'est pas en service; elle se termine par un plateau tournant, en fonte, destiné à faciliter le nettoyage.

La face opposée de la cabane est percée d'une ouverture, avec porte fermant à clef.

L'intérieur est éclairé par deux lucarnes latérales et par un trou rond, vitré, percé dans le toit, qui permet de suivre de l'intérieur l'ascension du fanal et de vérifier s'il est allumé.

Le poids de la cabane est de 1,000 kilogrammes environ; son prix, tous ses accessoires compris, de 1,654 francs, à Paris.

Ces deux petites constructions ont été adoptées par la Direction des phares.

Elles ont été conçues et sont exécutées par MM. L. Sautter, Lemonnier et Cie.

M. Baillet, contre-maître.

XXXI.

TRAVAUX D'AMÉLIORATION DE LA DOMBES.

(DÉPARTEMENT DE L'AIN.)

Dessins à l'échelle de $\frac{1}{120\,000}$.

Situation. — La Dombes, formée d'une partie des arrondissements de Bourg et de Trévoux (Ain), est située sur un vaste plateau s'inclinant vers le nord-ouest, et limitée par le Rhône, la Saône, l'Ain et les prairies de la Bresse.

Nature du sol. — Le sol de la Dombes a une profondeur moyenne de 30 centimètres; il est d'une composition suffisamment dotée en alumine, pauvre en calcaire et riche en silice et en fer. Le sous-sol, un peu plus argileux, un peu plus calcaire, est presque aussi riche que le sol en matières organiques.

Origine et développement des étangs. — La plupart des étangs de cette contrée sont de création assez moderne; il n'y en avait pas au XIVe siècle au centre de la Dombes, là où ils sont aujourd'hui si nombreux. C'est à partir de cette époque que leur nombre s'accrut rapidement à la suite des guerres féodales qui décimèrent la population de la Bresse et de la Dombes.

L'ancien système de culture, fondé sur la jachère labourée, n'était plus possible alors; les bras faisaient défaut. La culture des étangs, c'est-à-dire la jachère en eau, lui fut substituée, afin de rétablir l'équilibre entre le travail à faire et les forces disponibles. La rigueur de l'abstinence à cette époque, le grand nombre des communautés religieuses, la fréquence des disettes assuraient d'ailleurs au poisson un écoulement rapide et un prix élevé. Aussi la création des étangs fut-elle l'objet de puissants encouragements. Tout particulier avait le droit d'élever une chaussée sur son fonds et d'inonder les terrains supérieurs, à la charge de laisser aux possesseurs de ces fonds la jouissance du sol durant l'assec, les droits de brouillage et de champéage durant la culture en eau, et de leur payer en outre une indemnité réglée par arbitre.

Étendue des étangs. — Le pays d'étangs a une surface de 112,725 hectares, non compris les cours d'eau et les chemins; sur cette superficie les étangs occupaient une contenance de 19,215 hectares; comme ils restent habituellement deux ans en eau et un an en culture ordinaire, la surface annuellement inondée dans la Dombes pouvait être évaluée à plus de 12,000 hectares.

Voies de communication avant la création du service de la Dombes. — A l'exception des routes nationale n° 83 et départementale n° 19, qui traversaient le centre du pays d'étangs, et des routes départementales n°s 3 et 17 qui longeaient la Dombes, les chemins de cette contrée, avant 1853, étaient impraticables. Comme ils étaient générale-

ment creusés en contre-bas du sol, sans empierrement, sans fossés d'écoulement, les eaux de pluie y séjournaient la plus grande partie de l'année.

Routes agricoles. — En 1853, l'Administration supérieure créa un service spécial de la Dombes, confié aux ingénieurs des ponts et chaussées, et ayant pour mission d'étudier et de proposer les mesures propres à assainir ce malheureux pays.

Les habitants de la Dombes sont obligés de venir chercher à Bourg, à Vonnas, sur les rives de la Saône, du Rhône et de l'Ain, les fumiers, la chaux, les cendres et les amendements de toute sorte. Dans l'état où se trouvaient les voies de communication, le transport de ces produits était le plus souvent impossible ou trop onéreux; il fallait donc avant tout s'occuper de cette grave question de viabilité.

En 1854, le Gouvernement décida la création d'un réseau de quinze routes agricoles d'une longueur totale de 242 kilomètres, et un décret du 15 mai 1869 autorisa l'exécution d'un deuxième réseau de quinze nouvelles voies destinées à compléter l'œuvre de transformation à laquelle le premier réseau a surtout donné naissance. Ces quinze nouvelles routes ont une longueur totale de $121^{k},715$.

Les lignes terminées représentent aujourd'hui une longueur de	$245^{k},872$
celles en cours d'exécution une longueur de	62,096
et celles non commencées s'étendent sur	55,747
Total	$363^{k},715$

Les communes intéressées fournissent les terrains et exécutent les terrassements; l'État construit les ouvrages d'art et la chaussée d'empierrement. Les dépenses faites par l'État pour l'achèvement des 245^{k},872 de chemins livrés à la circulation se sont élevées à 1,018,259 fr. 80 cent., soit 4 fr. 14 cent. par mètre courant.

Chemin de fer de Bourg à Lyon, par la Dombes. — Si de nombreuses routes de terre étaient indispensables à la transformation agricole de la Dombes, sa situation tout exceptionnelle exigeait aussi des moyens plus puissants et plus économiques pour le transport des amendements et des engrais. En 1862, les ingénieurs étudièrent un projet de chemin de fer de Lyon à Bourg en traversant la Dombes diagonalement, et le 1er avril 1863 ce chemin de fer fut concédé à une compagnie moyennant une subvention de l'État de 3,750,000 francs.

Cette compagnie fut également chargée, au moyen de traités amiables passés avec les propriétaires, de dessécher et de mettre en valeur 6,000 hectares d'étangs, moyennant une deuxième subvention de 1,500,000 francs, soit 250 francs par hectare.

Puits publics. — Les anciens puits de la Dombes sont peu profonds et fournissent des eaux de mauvaise qualité, qui sont une des causes morbifiques chez l'habitant de la contrée.

L'Administration supérieure veut bien accorder aux communes de la Dombes qui en font la demande des subventions applicables à des travaux d'établissement ou d'approfondis-

sement de puits publics. L'importance de la subvention est fixée aux trois quarts de la dépense des travaux qui s'exécutent d'après les projets et sous la surveillance des ingénieurs; 28 puits sont déjà construits dans 27 communes différentes; la dépense totale s'est élevée à 49,285 fr. 39 cent.

Desséchement des étangs. — La compagnie du chemin de fer de la Dombes doit, aux termes de la convention ci-dessus précitée du 1er avril 1863, dessécher et mettre en valeur 6,000 hectares d'étangs. Cette opération marche très-régulièrement sous le contrôle des ingénieurs. La compagnie a déjà desséché 434 étangs d'une superficie totale de 4,813 hectares 41 ares 43 centiares, et reçu en conséquence de l'État une somme de 1,200,000 francs, correspondant à une surface mise en valeur de 4,800 hectares.

Curages. — Il y a vingt ans le lit des cours d'eau de la Dombes était obstrué; la retenue des moulins était trop élevée; et par suite les terrains bordant les rivières étaient la plupart transformés en marais. Dès la création du service de la Dombes, les ingénieurs s'occupèrent de la réglementation de la retenue des usines et des barrages d'irrigation et du curage des cours d'eau. Des syndicats furent organisés et les travaux les plus urgents furent entrepris par leurs soins; quelques-unes de ces associations fonctionnent encore. Sur 298 kilomètres de cours d'eau de la Dombes, soumis à des syndicats, 91 furent curés et améliorés. Les dépenses atteignirent la somme de 146,500 francs environ, y compris diverses subventions s'élevant à 52,214 fr. 40 cent., accordées par l'État.

Résultats obtenus. — Les sacrifices du Gouvernement ont produit d'immenses résultats. La culture du seigle et de l'avoine a fait place à celle du blé; des prairies artificielles sont créées sur tous les points; les terres incultes, que l'on rencontrait jadis à chaque pas, sont rares aujourd'hui; la vigne même commence à apparaître partout; enfin la valeur du sol a doublé.

Chez l'habitant une aisance relativement grande a remplacé la misère; le cultivateur, mieux nourri, est moins exposé aux influences climatériques. En 1857, les cas de fièvres paludéennes variaient de 40 à 90 p. o/o dans les seize communes du centre de la Dombes; en 1868 ils atteignaient à peine les chiffres de 4 à 9 p. o/o, et aujourd'hui les fiévreux sont très-rares. Dans ces mêmes communes la mortalité sur 100 habitants, qui s'élevait à 4,04, n'a été en 1870 que de 2,54; la population spécifique, qui était de 20,21 par kilomètre carré, s'était élevée en 1870 à 31,12; enfin la durée de la vie moyenne, qui se réduisait à 25 ans 3 mois 14 jours, est actuellement de 35 ans 3 mois 18 jours.

Le recrutement de l'armée montre, sous son vrai jour, ce qu'était avant toute amélioration la partie de la population qui parvenait jusqu'à l'âge viril. Les exemptions pour causes physiques s'élevaient en Dombes beaucoup plus haut que dans tout le reste de la France. Dans certaines communes le nombre des jeunes gens refusés pour ce motif excédait celui des admissibles, et dans toute la Dombes la moyenne atteignait 52 p. o/o. En 1870 ce chiffre n'a été que de 15 p. o/o.

En attendant la révision du cadastre qui aura pour effet

d'accroître singulièrement les revenus du Trésor, les résultats obtenus par l'accroissement notable des droits de mutation et d'enregistrement sur les propriétés, et des impôts indirects, prouvent surabondamment que non-seulement le Gouvernement a fait acte d'humanité et de justice en travaillant à la prospérité de la Dombes, mais encore qu'il y trouvera un placement des plus avantageux du capital engagé dans l'opération.

Les ingénieurs qui ont pris part aux travaux d'amélioration de la Dombes, depuis 1854 jusqu'en 1861, sont :

MM. Rolland de Ravel, Tarbé de Saint-Hardouin, Barreau, ingénieurs en chef des ponts et chaussés; et MM. Lamairesse, Ruinet et Garceau, ingénieurs ordinaires.

Depuis 1861, ces travaux ont été dirigés par M. Baudart, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et par M. Basin, ingénieur ordinaire.

La surveillance des travaux a été principalement confiée à MM. les conducteurs Parant et Perré.

Les entrepreneurs qui ont exécuté les ouvrages d'art étaient MM. Ratinet-Senetère et Abel; ceux qui ont entrepris les travaux de desséchement sont MM. Mangini frères, à Lyon.

XXXII.

ATLAS STATISTIQUE DES COURS D'EAU,

DES IRRIGATIONS

ET DES MOTEURS HYDRAULIQUES.

Carte à l'échelle de $\frac{1}{200\,000}$.

M. le Ministre des travaux publics a décidé qu'un atlas contenant toutes les indications propres à faire connaître l'état des cours d'eau, des irrigations et des moteurs hydrauliques serait publié par les soins de la Direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer.

Cet atlas est naturellement divisé par départements. Les documents réunis par MM. les ingénieurs de chaque département forment un chapitre spécial de cette description générale de nos arrosages et de l'ensemble de nos richesses hydrauliques, de sorte que l'ouvrage complet sera véritablement l'œuvre du corps des ponts et chaussées tout entier.

Le travail relatif à chaque département comprend :

1° Une carte générale à l'échelle de $\frac{1}{200\,000}$, gravée sur cuivre, imprimée en trois ou quatre couleurs, indiquant les cours d'eau de toute nature, les irrigations, les usines, les voies de communication et les divisions administratives.

Ces cartes pourront en outre recevoir toutes les indications relatives aux travaux de drainage, de desséchement, d'endiguement, que l'Administration jugera nécessaire d'y faire reporter; elles pourront recevoir enfin le résultat des recherches géologiques, hydrologiques et agricoles utiles à consigner;

2° Les tableaux statistiques imprimés des cours d'eau, des canaux d'arrosage, des usines et des irrigations qu'ils alimentent.

Ces tableaux renferment le nom de chaque cours d'eau, son rang comme affluent, les localités qu'il traverse, sa longueur, sa largeur, son profil mouillé, sa pente, la surface de son bassin, son débit à l'étiage, en eaux moyennes et en grandes crues. D'autres colonnes contiennent le nom de chaque usine hydraulique, sa nature, le nombre de paires de meules des moulins à farine, le volume et la chute de l'eau motrice, la force brute, la nature de l'appareil moteur et sa force utile en chevaux-vapeur. En ce qui concerne les irrigations, les tableaux font connaître, pour chaque arrosage, la commune où il est situé, le nom et le débit de la prise d'eau, l'espèce des cultures, partagées en prairies naturelles, prairies artificielles et terres arables. Une dernière colonne fait connaître les surfaces simplement submergées à des époques irrégulières par les crues ou les eaux sauvages.

Un système très-simple de numérotage permet de passer facilement des tableaux aux cartes, ou réciproquement;

3° Les plans ou profils des canaux d'arrosage d'une certaine importance, et de leurs principaux ouvrages d'art;

4° Les plans nivelés, à une grande échelle, de quelques terrains arrosés considérés comme des types d'irrigation les plus perfectionnés de chaque pays;

5° Enfin une note contenant toutes les explications utiles à joindre aux renseignements précédents.

XXXIII.

CONSTRUCTION D'UN ÉGOUT COLLECTEUR

ET DE SES EMBRANCHEMENTS

DANS LA VILLE DE BORDEAUX.

Un album de dessins.

La ville de Bordeaux a fait construire en 1867-1868, et au commencement de 1869, un égout collecteur avec embranchements destinés à faire disparaître du centre de la ville les ruisseaux infects du Peugue, de la Devèze et du Caudéran, qui coulaient à ciel ouvert entre les maisons, et dans lesquels se déversaient les eaux ménagères et la plupart des lieux d'aisances des habitations voisines.

L'ensemble du travail comprend la construction d'un égout collecteur, d'un embranchement pour le Peugue, d'un embranchement pour la Devèze, d'un autre embranchement pour le ruisseau du Caudéran, et de plusieurs embranchements secondaires destinés à rattacher au collecteur le réseau des égouts voisins.

Égout collecteur. — La longueur du collecteur est de $1,006^{m},70$. La pente en long varie entre $0^{m},0017$ et $0^{m},008$ par mètre. La section est formée, sur à peu près la moitié du parcours, d'une voûte en anse de panier à trois centres,

de $4^m,50$ d'ouverture, de $1^m,80$ de flèche, ayant 50 centimètres d'épaisseur aux naissances et 40 centimètres à la clef, et surmontant deux pieds-droits de $1^m,30$ de hauteur, qu'élargissent par le milieu deux banquettes de 52 centimètres de largeur; sur le reste du parcours, l'anse de panier est remplacée par une voûte en plein cintre de 50 centimètres d'épaisseur.

Toute la maçonnerie est faite en moellons bruts durs, hourdés au mortier de ciment. On a employé le ciment de Vassy pour le radier, et le ciment de Portland pour le reste.

Embranchement du Peugue. — La longueur de l'égout du Peugue est de 30 mètres; la section est formée d'une voûte en plein cintre de $3^m,60$ de diamètre, de 45 centimètres d'épaisseur, reposant sur deux pieds-droits de $1^m,20$ de hauteur, élargis en leur milieu par deux banquettes de 50 centimètres de largeur.

Comme dans le collecteur, la construction est faite en maçonnerie de moellons bruts hourdés au mortier de ciment.

Embranchement de la Devèze. — La longueur de l'égout de la Devèze est de $524^m,15$. La section est formée par une voûte en plein cintre de $2^m,66$ de diamètre, ayant 43 centimètres d'épaisseur aux naissances et 34 centimètres à la clef; la voûte se continue au-dessous des naissances pour former pied-droit sur 65 centimètres de hauteur, et deux banquettes de 35 centimètres de largeur réduisent à $1^m,50$ l'ouverture du radier.

Comme pour le collecteur, la construction est faite en maçonnerie de moellons bruts hourdés au mortier de ciment.

Embranchement du Caudéran. — La longueur de l'égout du Caudéran est de 805^{m},30. Deux sections ont été adoptées; dans la partie d'aval, la section est formée d'une voûte en plein cintre de 1^{m},30 d'ouverture sur pied-droit et de 1^{m},80 de hauteur sous clef; dans la partie d'amont, l'ouverture est réduite à 1 mètre.

L'égout est construit en béton de ciment moulé, de 20 centimètres d'épaisseur.

Embranchements secondaires. — Le développement total des embranchements secondaires atteint 1,800 mètres. Ils ont été construits en béton de ciment moulé, de 20 centimètres d'épaisseur. Ils ont 1 mètre de largeur aux naissances de la voûte, et, suivant les cas, 1^{m},80, ou 1^{m},50, ou même 1 mètre de hauteur sous clef.

Dépense. — La dépense totale s'est élevée à la somme de 982,706 fr. 01 cent.

Bien que les travaux s'étendissent à travers un réseau considérable de rues habitées, et qu'il fallût couper les voies les plus fréquentées de Bordeaux, bien que les tranchées eussent été ouvertes à quelques pas des maisons, la circulation n'a pas été interrompue, et il n'y a pas eu un seul accident à déplorer.

Les ingénieurs qui ont dirigé la construction de l'égout collecteur sont : MM. Lancelin (Louis), ingénieur en chef, et Wolff, ingénieur ordinaire. M. le conducteur Marchand a été chargé de la surveillance des travaux.

Les entrepreneurs étaient MM. Binet et Mondon.

XXXIV.

SONNETTE À VAPEUR DU PORT DE GRAVELINES.

Un modèle à l'échelle de $0^m,10$.

Parmi les travaux approuvés en 1867 pour le port de Gravelines, se trouvait l'établissement de deux jetées en charpente, d'une longueur totale de 383 mètres, qu'on devait construire à l'est et à l'ouest de l'extrémité du chenal du port de Gravelines.

Le projet de ces travaux portait que la jetée de l'est, qui devait avoir 150 mètres de longueur, serait fondée sur une double ligne de pieux en orme, de 30 centimètres d'équarrissage et de $4^m,50$ de fiche. Ces pieux devaient être espacés de 5 mètres d'axe en axe, dans le sens de la largeur de la jetée, et de 2 mètres d'axe en axe, dans le sens de sa longueur.

Il y avait, par conséquent, 300 pieux à battre en deux files parallèles, établies précisément dans l'emplacement même de l'ancienne digue basse.

La surface de cette digue, bouleversée par la mer, ne présentait aucune assiette pour l'établissement des engins nécessaires au battage des pieux de fondation du nouvel ouvrage. Le profil supérieur était couronné en arc de cercle et son revêtement, couvert d'herbes marines, de moules et de divers coquillages, en rendait l'accès très-incommode.

A cette difficulté spéciale à l'état des lieux, s'ajoutait l'insuffisance des ressources locales en ouvriers.

Ces considérations ont conduit à utiliser aux jetées les sonnettes à vapeur en usage aux travaux du port de Gravelines. Seulement il était indispensable d'y faire d'importantes modifications, afin de mettre le moteur à l'abri des atteintes de la mer, de donner aux appareils une stabilité suffisante et de leur conserver une mobilité convenable.

L'écartement uniforme des pieux de la jetée permettait d'ailleurs d'accoupler ensemble deux sonnettes, et de les animer par l'effet d'un moteur unique.

Description de l'appareil. — L'appareil se compose de trois parties parfaitement distinctes : le socle, la face, le chevalet.

Socle. — Le socle est formé d'un cadre en bois d'orme, de 30 centimètres d'équarrissage, de $4^{m},80$ de largeur et de $7^{m},80$ de longueur, solidement assemblé et renforcé aux angles par des aisseliers d'un bon équarrissage. A la face inférieure du cadre sont fixées deux plates-bandes en fer de 10 centimètres de largeur, sur lesquelles portent les rouleaux destinés à la translation de l'appareil. Un treuil fixé à la partie supérieure du châssis le met en mouvement.

Face. — La face porte les coulisseaux des deux sonnettes; ils sont reliés au sommet et à la base par un chapeau et une semelle. Cette dernière est solidement assujettie au châssis formant socle, par des agrafes en fer. Une grande croix de Saint-André, portant des équerres en fer aux extrémités de

ses branches, assure la rigidité de ce cadre que soutiennent d'autre part deux queues de sonnette appuyées sur le socle.

Ces pièces sont reliées entre elles par des tirants et par des entretoises en bois; le tout en sapin à peine équarri, à l'exception cependant des coulisseaux, qui sont parfaitement dressés, et qui portent des glissières en fer à T destinées à la conduite des moutons.

Chevalet. — Le chevalet, formé de quatre mâts en sapin brut inclinés les uns vers les autres et reposant sur le socle, est contreventé par un système de moises et de croix de Saint-André.

Il supporte un plancher très-résistant, sur lequel est posée la machine destinée à actionner les sonnettes.

Le plancher est établi à un niveau de 2 mètres au-dessus des plus hautes mers, hauteur parfaitement convenable pour la saison d'été. L'appareil entier ne présente, du reste, qu'une faible prise à la mer, de façon que la lame n'a aucune tendance à le surmonter.

La rigidité du chevalet est complétée par quatre tirants en fer munis d'écrous de serrage, placés suivant les diagonales du tronc de pyramide. Il est relié à la face de la sonnette par des longrines recouvertes d'un plancher à claire-voie et servant de pont pour le service général de l'appareil.

Moyen d'action. — Le plancher du chevalet est établi vers le milieu des croix de Saint-André; grâce à une cloison légère clouée à l'extérieur, une sorte de chambre découverte se trouve installée sur le chevalet, et permet d'avoir à

portée de la main tous les accessoires nécessaires à la conduite et à l'entretien courant du système.

La machine, du système Hermann-Lachapelle, est établie au milieu de la chambre. Elle présente la force nominale de6 chevaux de 75 kilogrammètres. Elle est verticale, et l'élévation de son arbre de couche au-dessus de la chaudière permet aux courroies de transmission de se rendre par-dessus les moises à la poulie des sonnettes.

Un réservoir d'eau est fixé en dehors de la chambre de la machine; à l'aide d'un tube en métal muni d'un robinet régulateur, il alimente le réservoir d'eau chaude de la chaudière. On le remplit lui-même avec une pompe foulante, placée à bord d'un bateau qui apporte dans des barriques l'eau douce destinée à la consommation de la machine.

Enfin, on accède à la plate-forme de la sonnette, à l'aide d'une échelle de perroquet établie sur l'une des queues des sonnettes.

Sonnettes. — Chacune des sonnettes est munie d'une chaîne Galle sans fin, portant de $3^{m},53$ en $3^{m},53$ une broche saillante destinée à élever le mouton.

Cette chaîne Galle est mise en mouvement par une roue dentée en fer, actionnée elle-même par une autre roue dentée intermédiaire, et enfin par un pignon calé sur un arbre établi au sommet de la face des sonnettes.

Sur cet arbre sont calés la poulie, qui reçoit l'action de la machine à vapeur par l'intermédiaire d'une courroie, et le frein, qui peut suspendre tout mouvement des moutons, à quelque moment de leur course qu'ils se trouvent. Le mécanicien, qui stationne d'ordinaire sur le pont supérieur,

manœuvre ce frein aussi facilement que le surveillant qui commande en bas les manœuvres de l'appareil.

Les deux sonnettes possèdent un mouvement alternatif. L'une et l'autre recevant l'action du même arbre de transmission, il suffit de disposer les broches saillantes qui déterminent l'ascension des moutons, de façon que le premier de ces moutons soit en chute ou au repos pendant que l'autre s'élève.

Moutons. — Les deux moutons sont semblables. Ils sont en bois de chêne fretté en fer, munis à la base d'un culot en fonte et au sommet d'une tête en acier fondu, par l'intermédiaire de laquelle la chaîne Galle les enlève.

La hauteur totale d'un mouton est de $2^{m},71$, y compris le culot de 13 centimètres et la tête de 31 centimètres.

Il pèse en totalité $642^{k},500$.

Déclic. — Le déclic, en acier fondu, se compose d'une embase carrée par laquelle il est lié au mouton, et d'une tête soutenue par des nervures. La tête est évidée et sert d'enveloppe à une griffe et à un sabot, l'un et l'autre également en acier fondu, et tous deux mobiles autour de deux axes en fer forgé traversant la tête du déclic. La griffe fait saillie en dehors de la tête du mouton quand elle est retombée par son propre poids dans sa position horizontale. C'est entre ses dents que passe la chaîne Galle de la sonnette. Elle peut aussi se relever presque verticalement; mais ce mouvement vertical ne lui est possible que lorsque la tête du sabot s'est échappée de sa queue.

Lunette. — Le déplacement du sabot destiné à caler la griffe est amené par le jeu d'une pièce en fer forgé, à laquelle on donne le nom de lunette.

Cette lunette a pour effet, quand elle s'abaisse, d'empêcher la chaîne Galle d'enlever le mouton. Quand, au contraire, on enlève la lunette, la première broche saillante de la chaîne Galle, qui vient à passer, rencontre la griffe, et le mouton est entraîné.

Enfin, si en un point quelconque de sa course ascensionnelle, le mouton élevé par la chaîne rencontre la lunette, le mouton détaché de la chaîne retombe par son propre poids.

On peut, par ce moyen, faire déclencher le mouton au point correspondant à la hauteur de chute qu'on désire lui donner.

Pieux. — Les pieux, ainsi qu'il a été dit plus haut, sont en bois d'orme, de 30 centimètres d'équarrissage, et ont $4^{m},50$ de longueur. Le pied est saboté avec des sabots du système Camuzat. La tête est frettée avec des frettes en fer, de 8 centimètres de largeur et de 25 millimètres d'épaisseur.

Carcans. — Le système des carcans employés pour maintenir ces pieux le long de la sonnette, pendant le battage, permet de les mettre très-rapidement en place. C'est par là que le croc du câble les saisit pour les dresser. Le treuil servant à l'avancement de la sonnette soulève alors le pieu; puis on l'assujettit aux glissières de la sonnette : on l'affale dans la position exacte qu'il doit occuper, et le battage commence immédiatement.

Il y avait ordinairement une quinzaine d'hommes em-

ployés aux travaux de battage des pieux de fondation de la jetée.

On a établi, par des expériences directes, que le temps nécessaire à l'exécution des différentes opérations relatives au battage de deux pieux était de 35 minutes.

Le plus communément on battait 10 pieux par marée de quatre à cinq heures de travail. On en a battu jusqu'à 14; mais quand on pensait n'avoir que le temps d'en battre 4, on ne descendait pas à marée basse.

Travail exécuté par la sonnette. — Du 15 juin 1870, époque à laquelle elle a été amenée sur son lieu d'action, au 15 octobre suivant, époque à laquelle elle a été démolie, la sonnette a exécuté le battage de 346 pieux, dont 278 à l'est du chenal et 68 à l'ouest.

L'économie qui résulte de l'emploi de la sonnette double est aussi incontestable, que la rapidité et la régularité de l'exécution sont manifestes.

Pendant une marée ordinaire, on a constamment battu, au minimum, 10 pieux avec une fiche de $3^{m},57$, moyennant une dépense de 48 fr. 65 cent. personnel compris, ce qui fait revenir à 4 fr. 87 cent. le prix du battage d'un pieu, chacun d'eux ayant d'ailleurs un cube en fiche de $0^{mc},321$.

Le prix de la main-d'œuvre du mètre cube de battage à vapeur à la mer, avec la sonnette double, revient donc à $\frac{48^{f}65^{c}}{3,213} = 15^{f}\,14^{c}$ par mètre cube en fiche.

Cette différence considérable en faveur du battage a vapeur, par rapport au battage à bras, a donné, pour les 346 pieux battus aux jetées de Gravelines, une économie qui ne doit pas être évaluée à moins de 12,000 francs.

En outre, par le seul fait que la sonnette double exigeait moins de bras, on pouvait marcher plus rapidement.

Enfin, la sonnette double présentant une grande stabilité, les pieux, qui y étaient solidement fixés pendant le battage, étaient battus beaucoup plus régulièrement.

Prix de revient de la sonnette. — Le prix de revient de la sonnette a été, en nombre rond, de 12,800 francs.

L'appareil qui vient d'être décrit a été installé par les ordres de M. l'ingénieur en chef Plocq, d'après les dessins et sous la direction de M. Jacquet, sous-ingénieur des ponts et chaussées, chargé des travaux du port de Gravelines.

XXXV.

MACHINE À MORTIER

DES PORTS DE DUNKERQUE ET DE GRAVELINES.

Un modèle à l'échelle de $0^m,10$.

Nature des mortiers. — Les mortiers hydrauliques employés, dans les ports du département du Nord, à la fabrication des bétons destinés à être coulés sous l'eau sont généralement composés de chaux hydraulique de Tournay, de cendre de houille et de trass de Hollande en poudre.

Ces substances donnent un mortier gras qui acquiert rapidement une résistance convenable. Le béton qu'il forme par son mélange avec de menus matériaux est facile à couler sous l'eau, ne se délave que très-peu et donne d'excellents massifs de fondation.

Procédé de fabrication. — Le seul inconvénient peut-être, de l'emploi de ce mortier, était la complication de sa fabrication qui exigeait quatre opérations successives et bien distinctes, pour lesquelles il fallait, sinon des ouvriers spéciaux, tout au moins des manœuvres d'une certaine intelligence.

Ces opérations comprenaient :

Le blutage des chaux en poudre; le dosage des matières;

leur mélange à sec et leur humectation; le malaxage du mortier.

Des raisons d'humanité étaient d'ailleurs plus que suffisantes pour rechercher le moyen d'exécuter mécaniquement, et en une seule opération, le blutage des chaux en poudre et leur dosage. En effet, l'action corrosive des poussières soulevées par ces manipulations amène promptement chez l'ouvrier l'altération de l'épiderme, et plus tard les hémorragies nasales et les ophthalmies, qui en sont fréquemment la conséquence.

On travaillait nuit et jour à la fabrication du mortier, et il fallait, par vingt-quatre heures, le concours de 28 hommes et de 6 chevaux. Cependant, avec ces forces assez considérables, on n'arrivait qu'à produire $1^{m},50$ de mortier à l'heure, ou 36 mètres par vingt-quatre heures, soit le mortier nécessaire à la fabrication de 72 mètres cubes de béton par jour. Il eût donc fallu quintupler le nombre des ouvriers et celui des chevaux, pour atteindre la fabrication nécessaire de 350 mètres cubes de béton par jour.

Nouvelle machine à mortier. — La machine à mortier a résolu ce double problème.

Elle fait à elle seule, et en quantité suffisante, par l'effet du même moteur à vapeur, les quatre opérations désignées plus haut, et, pour atteindre ce résultat, elle comprend quatre parties bien distinctes :

Le blutoir, le distributeur, le mélangeur à sec et le malaxeur, le broyeur.

Blutoir. — Le blutoir domine le distributeur. Sa forme

est, à peu de chose près, celle des blutoirs des boulangeries. La chaux, réduite en poudre par aspersion, est portée, par deux hommes, dans des boîtes en bois de la capacité d'un hectolitre. On en verse le contenu à la partie supérieure du blutoir. Les déchets sortent par l'extrémité opposée, d'où ils peuvent être directement chargés en tombereau pour être utilisés d'une autre façon.

La chaux, tamisée par un blutoir en tôle percé d'ouvertures rondes de douze dix-millièmes de diamètre, tombe dans une chambre spéciale hermétiquement close; des trappes vitrées formant regards, et un châssis mobile, permettent d'y pénétrer au besoin.

Distributeur. — Au niveau du plancher de cette chambre se trouve le distributeur.

Cet appareil se compose de trois boisseaux de 11 centimètres de hauteur, mais de section proportionnelle au cube de chacune des trois substances à distribuer : la chaux de Tournay, la cendre de houille et le trass de Hollande en poudre [1].

Le boisseau destiné au mesurage de la chaux est placé sous la chambre à la chaux tamisée; le boisseau du trass donne dans le magasin même où cette matière est approvisionnée. Celui qui est réservé à la cendre correspond à la chambre spéciale où les cendres de houille sont déposées.

[1] Dans le mortier hydraulique à confectionner dans les ports du Nord :

La chaux de Tournay entre pour une quantité de.....	0,800
La cendre de houille pour.....	0,550
Le trass de Hollande pour.....	0,150

par mètre cube de mortier exécuté.

Le premier de ces boisseaux a une section de $0^{mq},08$, le deuxième de $0^{mq},055$, le troisième de $0^{mq},015$. Ils sont liés à un même plateau par leur bord supérieur; c'est par là qu'ils sont appuyés sur le plancher lui-même.

Au-dessous de ce système tourne, en rasant leur bord inférieur, un disque en fer de 6 millimètres d'épaisseur, calé sur un arbre vertical qui en commande le mouvement. Ce disque est percé d'une ouverture plus grande que le plus grand des boisseaux, de telle manière que, dans le cours d'une révolution, il a successivement ouvert et fermé la partie inférieure de chacun d'eux.

Au-dessous de chaque boisseau s'en trouve un autre de mêmes dimensions, faisant partie comme lui d'un plateau par les bords duquel il est maintenu, sans avoir aucune relation avec l'axe du disque mobile.

Il n'existe entre les boisseaux superposés que l'espace nécessaire au passage du disque en tôle.

Un second disque, en tout semblable au premier, calé sur le même arbre vertical, ferme les boisseaux inférieurs de la même façon que le disque supérieur ferme les boisseaux supérieurs.

Toutefois, les ouvertures de ces deux disques sont contrariées de telle façon qu'aucun des boisseaux supérieurs ne peut être ouvert en même temps que le boisseau inférieur correspondant.

Ces disques sont mis en action par une roue d'angle dentée empruntant son mouvement à l'arbre de couche principal de la machine. Par un mécanisme très-simple, on peut à volonté suspendre le distributeur ou le remettre en marche.

On comprend maintenant que, les trois substances étant

déposées au-dessus de chacun des boisseaux, les poussières remplissent, par l'effet de leur poids, le boisseau supérieur. Puis, quand, par suite d'une révolution des disques accouplés, le boisseau inférieur vient à s'ouvrir à sa partie supérieure, les matières le remplissent à son tour et ne s'en échappent que, lorsque le disque supérieur ayant fermé toute communication entre les deux boisseaux, et le mouvement continuant, l'ouverture du disque inférieur vient à correspondre avec ce boisseau inférieur et lui permet de se vider dans le malaxeur.

L'arbre des disques faisant dix-sept tours par minute, c'est donc dix-sept fois par minute que chacun des boisseaux laisse tomber son contenu dans le malaxeur.

Malaxeur. — Le malaxeur, dont l'ouverture d'entrée se trouve au-dessous du distributeur, se compose d'un cylindre fixe en fonte muni d'un arbre mobile horizontal qui le traverse en entier dans le sens de la longueur, et qui est mis en mouvement par des engrenages situés à l'extérieur. Cet arbre fait trente et un tours à la minute. Il est muni de palettes en fer uniformément réparties sur ses quatre côtés, et inclinées à peu près à 45 degrés sur l'axe du cylindre. La tête de ces palettes décrit une circonférence, et les matières versées à une extrémité par le distributeur sont à la fois mélangées et transportées vers l'extrémité opposée.

Vers le milieu du cylindre, une ouverture rectangulaire munie de joues en tôle permet de surveiller la marche de l'opération. Par la même ouverture, deux jets d'eau plongent dans la matière, sous une pression de 2 mètres de hauteur environ.

Dans le reste du cylindre s'achève le malaxage du mortier, qui en sort déjà parfaitement homogène pour tomber sur les cylindres du broyeur.

Broyeur. — Le broyeur est composé de trois cylindres lamineurs, de diamètres inégaux, dont les mouvements, par l'effet d'engrenages calés sur leurs axes, sont solidaires.

En ne tenant compte que de l'aspect du mortier au sortir du malaxeur, les broyeurs pourraient paraître superflus. Cependant leur établissement n'a été décidé, que parce que les mortiers comprimés par les manéges ordinaires présentaient une densité sensiblement supérieure à celle des mortiers obtenus par un simple malaxage. Les broyeurs, en donnant une dernière façon au mortier, rachètent cet inconvénient.

Toutes les parties de la machine peuvent se démonter avec la plus grande facilité; de sorte qu'il suffit de l'approvisionnement de quelques pièces de rechange, pour être assuré que la rupture d'un organe ne peut pas arrêter sérieusement la fabrication du mortier.

Machine à vapeur. — La machine à vapeur qui actionne ces divers engins a une puissance nominale de six chevaux de 75 kilogrammètres. Elle est placée dans une chambre voisine et indépendante. Son arbre fait 85 tours par minute et commande, d'une part, le blutoir et, de l'autre, un arbre de couche établi sur le bâti de la machine à mortier proprement dite; cet arbre de couche donnait le mouvement par l'intermédiaire d'une courroie au distributeur, et, par l'intermédiaire d'engrenages, aux malaxeurs et aux broyeurs.

Nombre d'ouvriers. — Quatorze ouvriers et manœuvres sont nécessaires pour le service des appareils qui viennent d'être décrits, y compris la conduite de la machine à vapeur.

La dépense d'un atelier ainsi composé revient par heure à...	$4^f\ 25^c$
A ce chiffre il convient d'ajouter pour frais de charbon de la machine, graisses, huile, etc., par heure.....	2 00
Total.....	$6^f\ 25^c$

La quantité de mortier produite étant constamment de 8 mètres cubes à l'heure, le prix brut d'un mètre cube pour fabrication, en ne tenant aucun compte du montant de l'amortissement de la machine à vapeur, revient à $0^f\ 781$.

La machine à mortier qui fait l'objet de cette notice a été employée avec un plein succès aux travaux de réparation de l'écluse de chasse, à Dunkerque, et à la réédification de l'écluse Vauban, à Gravelines. Son installation est due à M. le sous-ingénieur Jacquet, sous la direction de M. Plocq, ingénieur en chef des ports de Dunkerque et de Gravelines.

XXXVI.

EXPÉRIENCES SUR LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

A L'ÉCRASEMENT.

Dessins à l'échelle de $0^{m},10$.

Description de la machine à éprouver les matériaux. — La machine à éprouver les matériaux, employée par le service des Recherches statistiques, consiste en un levier du second genre, dont le rapport des bras est variable et sur lequel roule une charge mobile. La pièce principale de cette machine est une barre de fer du commerce, à triple nervure, de 6 mètres de longueur et de 26 centimètres de hauteur. L'extrémité de cette barre est engagée dans un collier portant extérieurement un double couteau en acier, qui est mobile dans un double coussinet également en acier, constituant un point d'appui fixe à la partie supérieure de deux colonnes en fer très-solides, encastrées elles-mêmes dans une poutre horizontale en chêne.

Les matériaux à essayer sont posés sur un support formé de plusieurs plaques en fonte superposées, de 5 centimètres d'épaisseur chacune ; des cales en fer, de 1 centimètre à 2 centimètres d'épaisseur, puis un double plan incliné mû par une vis de pression, permettent de faire varier insensiblement la hauteur de l'échantillon, en maintenant toujours le levier de niveau. La pression est transmise au

solide essayé par l'intermédiaire d'un cône renversé, adapté à la nervure inférieure du levier, et dont la pointe appuie au centre d'un chapeau, également en fer, posé sur ce solide, qui est muni en dessus et en dessous de plaques de drap, de cuir ou de caoutchouc. Le support est d'ailleurs pourvu de roues dentées engagées dans une double crémaillère fixée à la poutre, de manière à faire varier le petit bras de levier de 20 centimètres à $2^m,40$. Le rapport des deux bras est donné par une échelle métrique fixée au levier.

Une roulette à gorge, glissant sur la nervure supérieure de ce levier, porte un plateau destiné à recevoir des poids. Cette roulette est liée par une chaîne à la Vaucanson à deux poulies de renvoi dentées, placées l'une sur le collier à couteaux, l'autre sur la tête d'un vérin qui soutient l'autre extrémité du levier dans l'intervalle des expériences ; une manivelle ajustée à la première de ces poulies fait avancer ou reculer la roulette, au moyen de l'un ou de l'autre des deux engrenages, qui lui impriment un mouvement plus ou moins rapide.

Un plateau fixe, suspendu au bout du levier et chargé suivant la résistance présumée des matériaux éprouvés, permet de réduire la charge du plateau mobile de manière à rendre insensible le frottement de la roulette ; cette charge est le plus habituellement de 40 à 80 kilogrammes.

Marche des expériences. — Trois hommes sont employés à l'expérience ; le premier tient la manivelle qui dirige le plateau mobile ; le second manœuvre le vérin de manière à laisser libre l'extrémité du levier à mesure qu'il fléchit sous la pression, et charge en outre le plateau fixe suivant

qu'il convient; le troisième met l'échantillon en position, surveille la marche de l'opération et en note le résultat.

Cette opération se conçoit aisément; lorsque l'échantillon est placé et le plateau fixe chargé en vue de la résistance présumée, le plateau mobile, ramené près du support et modérément chargé, est mis en mouvement, puis arrêté à l'instant même où l'échantillon se fend ou s'écrase : si l'effet n'est pas produit quand le plateau mobile arrive au terme de sa course, le levier est immédiatement soutenu par le vérin, de nouveaux poids sont ajoutés au plateau fixe, le plateau mobile est ramené près du support, puis l'opération est reprise sans que, dans l'intervalle, l'échantillon soit resté soumis à la pression. Lorsqu'on éprouve pour la première fois une nouvelle espèce de matériaux, on peut avoir à répéter plusieurs fois la manœuvre qui vient d'être indiquée, mais ensuite on n'a généralement besoin que d'une ou deux courses du plateau mobile pour obtenir un résultat, dont l'exactitude paraît bien assurée par la simplicité même de la méthode employée.

Vérification de la machine. — Toutefois, il était désirable de soumettre l'appareil à des vérifications positives, et c'est ce qui a eu lieu en 1867, grâce au concours de M. H. Tresca, membre de l'Institut, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers, qui a fait construire, en vue de ces vérifications, un manomètre à colonne de mercure, d'une grande précision, et en a opéré lui-même la graduation de la manière suivante :

La presse hydraulique à quatre corps de pompe, qui sert aux essais du Conservatoire, ayant été démontée, ces

corps de pompe ont été posés, sur une fondation solide, aux quatre coins d'une salle et sont devenus les points d'appui d'une plate-forme en charpente, susceptible de porter une charge considérable.

L'eau contenue sous les pistons étant mise en communication avec le manomètre, la plate-forme a été chargée progressivement de 500 en 500 kilogrammes, au moyen de poids et de caisses remplies de boulets, jusqu'à la limite de 37,000 kilogrammes, pour tarer le manomètre, et ensuite déchargée de même, à titre de vérification; cette double opération a marché très-régulièrement et a donné pour chaque millimètre de mercure une valeur de $35^{k},01$.

Le nouveau manomètre, après avoir été ainsi directement et exactement gradué, a été mis à notre disposition pour servir aux expériences de vérification de la machine à levier, qui ont été, avec l'assistance de M. Alfred Tresca, préparateur du cours de mécanique au Conservatoire, exécutées de la manière suivante :

Les quatre corps de pompe qui avaient servi à la graduation du manomètre ont été rapprochés et posés sur la poutre horizontale de notre appareil, puis recouverts d'une plaque de fonte et d'un chapeau, sur lequel le cône de pression agit comme si ce chapeau était posé sur un cube de pierre en expérience.

Ces corps de pompe étant ensuite mis en communication avec le manomètre, on a exécuté dans ces conditions plusieurs séries d'expériences en faisant varier successivement ou simultanément la charge du plateau fixe et celle du plateau mobile, puis la distance du point de pression au point de rotation, soit le rapport des deux bras de levier.

Ces expériences ont marché avec une régularité parfaite; un même accroissement de la charge donnait constamment lieu à une même élévation du mercure, et les chiffres, calculés au moyen des tables établies en vue des essais journaliers, étaient toujours sensiblement égaux à ceux indiqués par la tare du manomètre. Les plus fortes différences n'ont pas atteint 5 p. o/o, lorsque le petit bras de levier était de 20 centimètres; elles étaient moitié moindres lorsqu'il était de 50 centimètres, et cet accord remarquable s'est soutenu tant que la pression totale n'a pas dépassé 26,000 kilogrammes. On a reconnu qu'au delà de cette limite, on ne pouvait plus compter sur les indications de la machine; mais jamais on n'opère sous d'aussi grandes charges, par des raisons pratiques qui ont depuis longtemps fait adopter la règle de ne pas dépasser 20,000 kilogrammes.

Ces résultats démontrent que la machine à levier ne laisse rien à désirer sous le rapport de l'exactitude, en même temps que sa simplicité en rend l'usage et l'entretien très-faciles. Cette constatation avait d'autant plus d'importance que, si les résultats obtenus avec cette machine s'accordent très-bien avec ceux de Rondelet et d'autres expérimentateurs, pour les pierres tendres et demi-dures, ils les dépassent notablement pour la plupart des pierres dures, roches, marbres et granits, en suivant une progression qui semble d'ailleurs plus conforme à la nature des matériaux, mais qu'il était indispensable d'établir rigoureusement [1].

[1] Des appareils construits sur le modèle de celui des Recherches statistiques ont été ou sont employés par plusieurs observateurs français et

Calcul des expériences. — Le calcul des expériences ne demande pas moins de soin que leur exécution même; on en assure la rapidité et l'exactitude au moyen de registres où les résultats observés sont immédiatement inscrits dans des colonnes disposées en vue de tables spéciales, fournissant les divers membres de la formule qui exprime en kilogrammes la charge supportée par l'échantillon.

Cette formule est la suivante :

$$F = \frac{\overset{(a)}{(414^k \times 2^m,656 + 51^k,85 \times 5^m,35)}}{x} + \frac{\overset{(b)}{(5^m,35 \times p)}}{x} + \frac{\overset{(c)}{(63^k,50 \times z)}}{x} + \frac{\overset{(d)}{(q \times z)}}{x} + \overset{(e)}{(r+s)}.$$

x est la distance de la pointe du cône de pression au point de rotation des couteaux;

414^k est le poids du levier, avec ses accessoires, étrier, couteaux, poulies, chaînes, etc.;

$2^m,656$ la distance de son centre de gravité au point de rotation;

$51^k,85$ est le poids du plateau fixe, et $5^m,35$ la distance de son point de suspension au point de rotation;

p est la charge du plateau fixe;

$63^k,50$ est le poids du plateau mobile, y compris la roulette qui le porte;

étrangers, notamment par M. l'ingénieur Lancelin, directeur des travaux municipaux de Bordeaux, et par M. Celeste Clericetti, professeur à l'Institut technique supérieur de Milan, qui a publié une série intéressante d'expériences sur la résistance à la traction et à l'écrasement des pierres de la Haute-Italie, dans le *Politechnico-Giornale dell' ing. arch. civ. e indust.* Anno XVII.

z est la distance du point de contact de cette roulette sur le levier au centre de pression, au moment de la rupture ou de l'écrasement de l'échantillon ;

q est la charge du plateau mobile ;

r et s sont les poids du cône de pression et du chapeau qui porte sur l'échantillon.

On a calculé trois tables correspondant aux valeurs habituelles de x, qui sont : 25, 50 centimètres et 1 mètre ; dans chacune d'elles on trouve les valeurs des divers termes de la formule, suivant celles de p et de q de 20 en 20 kilogrammes, et celles de z de 5 en 5 centimètres.

Au moment même de l'expérience on inscrit, dans chacune des colonnes du registre portant pour titre les termes (a), (b), (c), (d) et (e) de la formule, les valeurs observées de x, p, z, q, $(r+s)$. Il suffit alors de chercher dans la table convenable les valeurs correspondantes des termes (a), (b), etc., et de les écrire au-dessous des chiffres observés, puis de les additionner horizontalement pour obtenir la force portante de l'échantillon soit lors des premières fissures qui s'y manifestent, soit à l'instant de l'écrasement total; en divisant la somme par la section de l'échantillon, on a la résistance par centimètre carré.

L'extrait ci-dessous d'un registre d'expériences fera mieux comprendre ce qui précède et pourra servir de renseignement aux expérimentateurs :

PROVENANCE ET NATURE des échantillons.	SECTION en centimètres carrés.	VOLUME en centimètres cubes.	POIDS de l'échantillon en grammes.	POIDS du mètre cube en kilogr.	$\frac{414^k \times 2^m,656}{x} + \frac{51^k,85 \times 5^m,35}{x}$.	$\frac{5^m,35 \times p}{x}$.	$\frac{63^k,50 \times z}{x}$.	$\frac{q \times z}{x}$.	$r + s$.	RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT de l'échantillon.	RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT par centimètre carré.
						k	m	k	k	k	k
Pierre de Chauvigny (Vienne), commune de Jardes, carrière de la Croix-Blanche, M. Couvrat.	34,22	201,890	441	2,184	$x=0.25$ 5390.226	$p=80$ 1712	$z=1.85$ 469.90	$q=80$ 592	6.015	8170.141	238.75
	35,70	210,630	452	2,146	$x=0.25$ 5390.226	$p=80$ 1712	$z=2.90$ 736.60	$q=80$ 928	6.015	8772.841	245.74
	36,00	214,200	469	2,190	$x=0.25$ 5390.226	$p=140$ 2996	$z=4.05$ 1028.70	$q=80$ 1296	6.015	10716.941	297.69
	35,70	214,200	460	2,148	$x=0.25$ 5390.226	$p=80$ 1712	$z=1.15$ 292.10	$q=80$ 368	6,015	7768.341	217.60
MOYENNES...	.....	.....	.....	2,167	.....	.....	.....	.....	.....	.....	249.95

OBJET DES EXPÉRIENCES. — Les expériences faites de 1854 à 1873 ont dépassé le nombre de dix mille et porté sur environ quinze cents natures de matériaux divers : granits, porphyres, roches volcaniques, grès, marbres et pierres calcaires, briques, ciments, mortiers, pierres factices, dont la très-grande majorité n'avaient pas encore été éprouvés à l'écrasement.

Une partie notable de ces expériences ont été exécutées soit sur la demande d'ingénieurs et d'architectes qui voulaient connaître la résistance et la qualité des matériaux, avant d'en permettre l'emploi dans les constructions qu'ils dirigeaient; soit sur la demande d'entrepreneurs, carriers, briquetiers ou autres industriels, en vue de faire admettre les produits de leurs exploitations dans les travaux publics.

Le reste des essais avait pour objet de remplir, dans les tableaux statistiques dressés par le service pour les carrières exploitées dans chaque département, les colonnes consa-

crées au poids métrique et à la force portante, et, en outre, de résoudre les questions générales concernant la résistance comparative des matériaux placés dans des conditions différentes.

Les pierres dures sont éprouvées en cubes de 3 à 5 centimètres de côté, les pierres tendres en cubes de 5 à 10 centimètres; chaque expérience est répétée sur au moins deux et généralement sur quatre échantillons semblables.

Les pierres qui ne sont pas homogènes sont essayées sur des échantillons pris à diverses hauteurs du banc; on trouve ainsi, pour les roches des environs de Paris par exemple, des différences du simple au triple dans l'épaisseur d'une même assise.

Pour la plupart des pierres poreuses, on ne se contente pas de les mesurer et de les peser exactement, on détermine de plus la densité de la matière par le procédé de la balance hydrostatique, et l'on note la quantité d'eau absorbée.

Il a été fait avec le même appareil, en vue des travaux du nouvel Opéra, un certain nombre d'expériences sur la résistance à la flexion de pièces posées sur deux appuis, comme le sont les linteaux.

On peut également s'en servir pour éprouver la résistance des matériaux à l'arrachement; pour effectuer ce genre d'essais, on donne à l'échantillon la forme d'une briquette en double T, dont la branche supérieure est encastrée dans une griffe attachée à un point fixe établi au-dessus du levier, lequel agit lui-même sur une autre griffe adaptée à la branche inférieure. Nous avons dès à présent préparé, pour les principaux types de pierres de taille employées en France, des tiges et briquettes destinées à ces deux derniers

genres d'expériences, dont on s'est peu occupé jusqu'à ce jour et dont les résultats auront un intérêt à la fois pratique et scientifique.

Publication des expériences. — La publication des expériences sur la résistance des pierres de taille à l'écrasement a été commencée dans trois mémoires insérés aux *Annales des ponts et chaussées* (1863, 1er semestre; 1868, 2e semestre; 1870, 2e semestre). Les deux premiers donnent en 558 numéros le tableau de la force portante, du poids métrique et de la hauteur d'assise de deux cents espèces de pierres, comprenant la presque totalité de celles que les terrains tertiaires du bassin de Paris fournissent aux travaux publics. Ce tableau est précédé de la définition des diverses natures de matériaux qu'il contient, et d'observations pratiques sur l'emploi de ces matériaux et l'exploitation des carrières qui les produisent.

Le troisième mémoire a pour objet les pierres des départements de l'Est; le tableau qui y est joint contient 229 numéros se rapportant à cent natures de pierres de la Champagne, de la Lorraine, de l'Alsace et de la Franche-Comté. Ce mémoire, comme les précédents, contient des observations pratiques utiles aux constructeurs, ainsi que la définition des roches jurassiques et triasiques, auxquelles sont empruntés la plupart des matériaux qu'on y trouve; de plus, dans le tableau d'expériences, chaque espèce de pierre essayée est l'objet d'une note placée au bas de la page et faisant connaître sa position géologique, sa texture et sa composition, ses qualités ou ses défauts particuliers, et les principaux emplois qui en ont été faits.

Un quatrième mémoire, concernant les mêmes provinces

de l'Est, plus la Bourgogne et le Nivernais, sera publié prochainement dans les *Annales*, et suivi de plusieurs autres, dont les éléments sont presque entièrement préparés, et qui feront connaître les pierres de taille des autres régions de la France, en commençant par l'Ouest et le Nord; on y donnera, en outre, un aperçu de la constitution géologique de chaque département, envisagée au point de vue de la recherche et du classement des matériaux de construction.

Application des expériences. — Les essais sur la résistance à l'écrasement des matériaux ne pouvant se faire que sur des échantillons de petites dimensions, il est naturel de se demander si les résultats obtenus sont bien applicables aux blocs plus ou moins volumineux employés dans les constructions. Rondelet, auquel on doit la meilleure et la plus nombreuse série d'expériences (*Art de bâtir*, t. I et III, 1812-1814), a répondu affirmativement à cette question en prouvant que les cubes de même nature et de dimensions différentes résistent proportionnellement à leur section horizontale. Cette règle a été confirmée par plusieurs expériences faites avec l'appareil à levier sur des cubes pris dans les mêmes blocs et ayant de 2 à 10 centimètres de côté; on peut donc la considérer comme définitivement établie.

On sait d'ailleurs que l'usage des constructeurs est de prendre pour limite de la pression supportée par les matériaux en œuvre le dixième de la charge qui détermine l'écrasement; cette règle doit être rigoureusement suivie pour les pierres qui ne sont pas à la fois dures et homogènes; quant aux pierres compactes, taillées et posées avec soin et qui ne sont pas susceptibles de s'altérer avec le temps,

cette proportion peut être réduite sans imprudence; ainsi l'on ne verrait pas d'inconvénient à faire supporter le sixième de leur force portante instantanée à des porphyres, des granits, des marbres et des calcaires compactes de bonne qualité.

Résistance comparative des pierres posées de lit et de champ. — Les constructeurs ayant assez souvent l'occasion de poser les pierres en délit, notamment lorsqu'il s'agit de colonnes ou piliers monolithes, il était intéressant de savoir si la résistance en était modifiée.

D'expériences assez nombreuses on conclut, que pour des matériaux homogènes, où la stratification est difficile à discerner, il n'y a pas de différence sensible dans leur force portante, qu'ils soient posés ou non sur leur lit de carrière, et qu'il y en a plus ou moins dans le cas contraire, sans toutefois que cette différence soit aussi grande qu'on le croit généralement. On citera, comme l'un des exemples les plus frappants qui aient été observés, celui de l'oolithe rubanée de Ravières qui a fourni les grandes colonnes monolithes placées en délit au premier étage de la façade du nouvel Opéra; cette pierre, étant pressée de lit, s'est écrasée sous 319 kilogrammes, et de champ sous 254 kilogrammes seulement, par centimètre carré.

Résistance comparative des pierres sèches et mouillées. — Il a été fait de très-nombreuses expériences pour comparer à la résistance des pierres sèches celle des mêmes pierres mouillées, qui en diffère d'autant plus que la roche est plus poreuse. C'est ainsi que les grès bigarrés des Vosges,

si employés dans l'Est de la France, perdent, lorsqu'ils sont imbibés d'eau, le quart et jusqu'au tiers de leur force; il en est de même des bancs royals et des pierres tendres des environs de Paris, des molasses du Midi et des matériaux analogues. Ainsi le banc royal d'Éragny, près Pontoise, fraîchement extrait et contenant encore son eau de carrière, ne porte que 42 kilogrammes, tandis que sec il résiste jusqu'à 102 kilogrammes; il existe évidemment, entre la proportion d'eau absorbée par une pierre et la diminution de sa résistance, une relation qui sera établie à l'aide de nouvelles recherches.

Dès à présent, il convient d'engager les constructeurs à réduire la charge à supporter par les pierres poreuses, dures ou tendres, qu'ils emploieront dans les piles et même les voûtes des ponts, comme dans tous les autres travaux exposés à une grande humidité.

Relation entre le poids et la résistance des matériaux. — Tout le monde sait que la résistance des matériaux augmente avec leur poids spécifique, à la condition qu'ils soient de même nature; pour les pierres en particulier, la force portante ne dépend pas seulement de leur poids, mais aussi de leur grain et de leur texture, de leur porosité, de leur homogénéité plus ou moins grande, de la nature et de la cohésion des éléments qui les composent. C'est ainsi que l'on voit à poids égal les porphyres présenter plus de résistance que les granits, les grès que les calcaires, et, parmi ceux-ci, les compactes et les lithographiques l'emporter sur les roches grossières et coquillières.

Il est vrai qu'il suffit à un praticien expérimenté, lors-

qu'on lui présente une pierre nouvelle, de la peser et de la comparer à des pierres analogues pour en apprécier la résistance avec une approximation que l'expérience manque rarement de confirmer; mais il reste la difficulté de préciser et de définir intelligiblement les analogies qu'une longue pratique fait percevoir entre des matériaux de provenances diverses.

C'est en multipliant les observations et les expériences, en les combinant et les discutant avec méthode, qu'on arrivera sans doute prochainement à résoudre le problème qui se pose en ces termes : Répartir toutes les pierres de construction en un nombre limité de natures ou de catégories, pour chacune desquelles la force portante sera exprimée en fonction du poids métrique au moyen d'une formule simple dont les constantes seront fournies par l'expérience.

Résistance des divers genres de matériaux. — Dès aujourd'hui les résultats obtenus par le service des Recherches statistiques permettent d'indiquer assez exactement les limites entre lesquelles varient le poids et la résistance à l'écrasement des différents genres de matériaux.

Nos pierres de construction consistent en calcaires, qui s'exploitent et surtout s'emploient dans la plus grande partie de la France, et qui s'exportent dans quelques pays voisins, en grès qu'on trouve principalement dans les provinces de l'Est, en granits que produisent notamment la Bretagne et le centre de la France, enfin en trachytes et laves, dont l'exploitation et l'usage sont restreints à l'Auvergne et aux départements voisins.

Pierres calcaires. — Les pierres calcaires, en même temps qu'elles sont les plus nombreuses, sont aussi les plus variables de poids et de force, aussi bien que de nature et de qualité; pour se rendre compte de ces variations, on a dressé le tableau de plus de mille espèces de calcaires recueillis dans toutes les parties de la France (à l'exclusion du bassin de Paris, dont les matériaux présentent des caractères particuliers), en les rangeant dans l'ordre de leur résistance à l'écrasement, et voici les remarques générales qu'a suggérées l'examen de ce tableau.

Le poids des calcaires employés comme pierres de taille varie de 1,400 à 2,800 kilogrammes par mètre cube, et leur résistance, de 20 à 1,200 kilogrammes par centimètre carré.

Les pierres dures qui se scient à l'eau et au grès pèsent, à très-peu d'exceptions près, de 2,200 à 2,800 kilogrammes et portent de 220 à 1,200 kilogrammes ; les pierres tendres qui se scient à la scie à dents pèsent de 1,400 à 2,200 kilogrammes et portent de 20 à 220 kilogrammes.

Calcaires durs. — Au point de vue de la taille et de la résistance, les pierres dures se divisent en deux classes distinctes, suivant qu'elles peuvent ou non recevoir le poli.

Les pierres-marbres ou calcaires susceptibles de poli figurent en tête du tableau, leur poids métrique variant en général de 2,600 à 2,800 kilogrammes, et leur force portante, de 700 à 1,200 kilogrammes, on a même trouvé pour quelques-unes une force supérieure.

Les plus résistants sont les calcaires très-compactes, dont le grain est imperceptible ou finement cristallin, comme les

marbres de la Belgique et du nord de la France, les choins de l'Ain et de la Savoie, les pierres froides de la Provence; les matériaux de cette catégorie pèsent rarement moins de 2,700 kilogrammes et portent souvent plus de 900 kilogrammes.

Au second rang viennent certains calcaires compactes à entroques ou suboolithiques, de la Bourgogne et de la Franche-Comté; et quelques calcaires lacustres, tels que ceux de Château-Landon et de Gannat et autres pierres analogues, dont la résistance varie de 700 à 900 kilogrammes et le poids de 2,600 à 2,700 kilogrammes. Ces deux catégories de matériaux sont principalement employées dans les constructions, et ne fournissent d'ordinaire que des marbres communs.

Les marbres proprement dits, recherchés pour la décoration et la statuaire, sont ceux qui offrent la moindre résistance pour le plus grand poids; ainsi le marbre blanc saccharoïde de Saint-Béat, qui pèse 2,741 kilogrammes, ne porte que 641 kilogrammes, et le marbre brèche de Tantavel, avec un poids de 2,668 kilogrammes, ne résiste qu'à 552 kilogrammes.

Les pierres dures, non susceptibles de poli, sont généralement moins résistantes que les précédentes; elles portent de 200 à 800 kilogrammes et pèsent de 2,200 à 2,600 kilogrammes.

Dans une première catégorie, dont le poids varie de 2,400 à 2,600 kilogrammes et la résistance de 600 à 800 kilogrammes, se placent d'abord les véritables liais, calcaires très-homogènes et finement grenus, propres au dallage, dont ceux de Lézinnes, près Tonnerre (Yonne), de

Maninghen (Pas-de-Calais) et de Chandolin (Sarthe), offrent des types; puis les calcaires subcompactes, dont quelques-uns, comme la belle pierre blanche de l'Échaillon, près Grenoble, le calcaire lacustre de Vendôme et l'oolithe dure de Saint-Dizier, près Belfort, susceptibles de recevoir un demi-poli, forment le passage aux pierres-marbres.

Les pierres dures, mais d'un grain moins serré, qu'on assimile aux roches du bassin de Paris et qui s'emploient également en soubassement, mais dans les constructions moins importantes, formeront une deuxième catégorie portant de 350 à 600 kilogrammes et pesant de 2,200 à 2,500 kilogrammes; elle comprend notamment les roches grises de la Bourgogne, les bancs les plus durs de la Lorraine, du Poitou et du Bordelais, la plupart des calcaires lacustres de la Beauce.

Dans une troisième catégorie se placent les pierres moins dures, qui, dans les bâtiments publics, s'emploient au-dessus du soubassement, et qu'on appelle bancs francs dans le bassin de Paris; elles portent de 220 à 350 kilogrammes et pèsent le plus souvent de 2,200 à 2,300 kilogrammes; tels sont les bancs ordinaires des carrières d'Euville et Lérouville (Meuse), de Ravières (Yonne) et de Chauvigny (Vienne), et les plus dures parmi les molasses du Midi.

Calcaires demi-durs et tendres. — Les pierres tendres, comme on l'a dit plus haut, portent de 20 à 200 kilogrammes et pèsent de 1,400 à 2,200 kilogrammes. On peut les diviser assez clairement en pierres demi-dures, pour lesquelles on a encore quelquefois avantage à faire usage de la scie au grès, et qui s'emploient en élévation au premier

étage, et en pierres tendres proprement dites, qu'on sciera toujours à la scie à dents et qui ne doivent servir qu'aux étages supérieurs des bâtiments.

Les pierres demi-dures, qu'on appelle bancs royals lorsqu'elles sont d'un grain fin, portent de 100 à 220 kilogrammes et pèsent de 1,800 à 2,200 kilogrammes; les plus connues sont les bancs royals de Tonnerre, de Savonnières-en-Perthois, d'Allemagne, près Caen, et des Lourdines, près Poitiers, dont les débouchés s'étendent jusqu'à Paris et au delà.

Les pierres tendres proprement dites portent de 20 à 100 kilogrammes et pèsent, à part un très-petit nombre, de 1,400 à 1,800 kilogrammes; elles sont peut-être moins répandues en France que les pierres dures, mais leurs exploitations forment, dans nos diverses régions, bien des groupes importants dont les produits peuvent donner lieu à autant de catégories distinctes. Au Nord, les carrières de l'Oise et de l'Aisne, ouvertes dans le calcaire grossier éocène, donnent les vergelés, pierres grasses et pierres fines dont nous aurons à parler plus loin. A l'Ouest, on exploite, d'abord, la craie tuffeau de la Touraine et des départements voisins, dont le poids est relativement très-faible, puisqu'il reste généralement compris entre 1,250 et 1,400 kilogrammes pour des forces portantes de 30 à 80 kilogrammes, et plus loin les bancs, également crayeux mais plus tenaces et coquilliers, de la Charente, connus sous le nom de pierres d'Angoulême, qui s'exportent jusqu'à Bordeaux et en Espagne; leur poids varie de 1,800 à 2,000 kilogrammes et leur résistance de 65 à 110 kilogrammes. Au Sud-Ouest, ce sont les calcaires grossiers de la Gironde et de la Dordogne, ceux de tous dont

la résistance varie le plus, puisqu'elle descend au-dessous de 20 kilogrammes, leur poids restant au-dessus de 1,400 kilogrammes, et que les bancs les plus fermes peuvent être considérés comme pierres dures. Enfin, au Sud-Est, les molasses du bassin du Rhône, dont les plus serrées figurent en tête des pierres demi-dures, mais dont les plus employées, telles que celles de Saint-Just et Saint-Restitut, près Saint-Paul-Trois-Châteaux, restent comprises dans les limites restreintes de 60 à 90 kilogrammes pour la force portante, et de 1,600 à 1,800 kilogrammes pour le poids métrique.

Pour préciser davantage les relations qui existent entre la nature, le poids et la résistance des pierres calcaires, et arriver ainsi à résoudre le problème général posé plus haut, il faudra introduire, dans chacune des catégories qui viennent d'être indiquées, de nouvelles subdivisions fondées particulièrement sur l'exacte détermination géologique des couches exploitées; mais il semble que le présent essai de classification offre déjà un réel intérêt pratique.

Calcaires du bassin de Paris. — On complétera ce qui regarde les pierres calcaires en résumant brièvement les résultats des expériences faites sur les matériaux du bassin de Paris, qui sont extraits en presque totalité du calcaire grossier éocène. On rappellera d'abord que les bancs durs de cette formation, dont la plupart appartiennent à sa partie supérieure, sont toujours régulièrement stratifiés en assises d'une hauteur de 15 centimètres à $1^{m},20$, et que la consistance de la pierre diffère beaucoup dans cette hauteur, de sorte que, même après un ébousinage soigné, la force por-

tante varie souvent du simple au triple dans un même bloc, homogène en apparence.

Il est clair qu'au point de vue de la difficulté de la taille et du sciage, c'est d'après la partie la plus compacte qu'il faut classer la pierre; mais qu'au contraire, à l'égard de la charge que la pierre doit porter, c'est la partie la plus tendre qu'il convient de considérer.

De là, une sérieuse difficulté dans l'appréciation des pierres du bassin de Paris, et sans doute aussi l'une des raisons qui ont fait employer de préférence les roches homogènes du Jura, de la Bourgogne et de la Lorraine dans les soubassements des grands édifices, dans les ponts et autres ouvrages importants récemment construits à Paris.

Une seule pierre-marbre est exploitée dans notre bassin : c'est le calcaire lacustre de Souppes et Château-Landon, dont il a été déjà fait mention. Sa résistance varie de 600 à 900 kilogrammes, et son poids de 2,400 à 2,600 kilogrammes. Les chiffres plus faibles, portés dans le tableau du premier mémoire (*Annales*, 1863), résultent d'expériences faites avant les perfectionnements qui ont donné à la machine à levier une parfaite exactitude; la même observation s'applique aux expériences faites sur d'autres pierres dures avant 1860, et qui ont été répétées depuis lors.

Les liais durs, dont les types étaient ceux de Bagneux et de Senlis, épuisés aujourd'hui, sont très-rares dans les environs de Paris.

On ne peut citer que ceux de Courville (Marne), de Vendresse et de Violaine (Aisne); ils pèsent de 2,300 à 2,400 kilogrammes, et leur résistance, du haut en bas de l'assise, varie de 400 à 500 kilogrammes. Les liais moins

durs de Carrières-Saint-Denis et de Jérusalem (Seine-et-Oise), les roches fines de Senlis et de l'Isle-Adam, qu'on peut leur assimiler, ont à peu près le même poids, mais portent seulement de 300 à 600 kilogrammes.

Les roches dures, dont la taille se paye à Paris de 8 à 10 francs le mètre superficiel, sont aussi devenues rares; les meilleures sont celles de Saint-Nom, près Versailles, de Laversine et de Villers-la-Fosse, près Soissons, de Bonneuil et de Saint-Pierre-Aigle, près Villers-Cotterets; leur poids est de 2,200 à 2,400 kilogrammes; leur résistance varie de 200 à 600 kilogrammes dans l'épaisseur de l'assise. On peut ranger dans la même catégorie les pierres de Tessancourt et de Damply, près Meulan, qui sont beaucoup plus homogènes dans chaque banc, mais qui varient d'un banc à l'autre de la masse; leur poids est de 2,200 à 2,400 kilogrammes, et leur résistance de 300 à 500 kilogrammes.

Les roches ordinaires et les bancs francs durs, dont la taille vaut 6 francs le mètre superficiel, s'exploitent encore dans la plaine au sud de Paris, où les roches dures sont épuisées; on en tire également de Pargny et d'Hameret, au nord de Soissons, de Saint-Leu et de Saint-Maximin, près Creil, et de la Ferté-Milon; leur poids varie de 2,000 à 2,300 kilogrammes et leur résistance de 150 à 400 kilogrammes. On y peut joindre la pierre célèbre et toujours abondante de Saillancourt, dont les bancs pèsent de 1,900 à 2,200 kilogrammes et portent de 100 à 550 kilogrammes.

Les chiffres qui précèdent montrent bien que, en général, on ne peut pas avec sécurité soumettre à de fortes charges les pierres dures du calcaire grossier parisien.

Les pierres demi-dures, dont la taille se paye 4 francs le mètre superficiel, sont désignées sous les noms de roches douces, bancs francs, bancs royals durs; elles s'extraient aussi dans la plaine au sud de Paris, dans la vallée de l'Ourcq, à Saint-Maximin, Butry et Méry, sur l'Oise; leur poids varie de 1,800 à 2,000 kilogrammes et leur force portante de 100 à 200 kilogrammes.

Les pierres tendres du bassin de Paris sont beaucoup plus homogènes que les pierres dures, et comparables sous ce rapport à celles des autres régions de la France. On les divise, d'après leur texture, en vergelés, lambourdes, pierres grasses ou Saint-Leu, pierres fines ou pierres douces; on a défini dans le premier mémoire (*Annales*, 1863) ces diverses natures de pierres tendres, qui diffèrent de qualité, mais dont le poids et la résistance restent sensiblement dans les mêmes limites.

Les plus fermes et les plus serrées, qui reçoivent le nom de bancs royals tendres et dont la taille vaut 2 fr. 75 cent. le mètre superficiel, pèsent 1,600 à 1,800 kilogrammes et portent de 70 à 120 kilogrammes; on les exploite notamment à Conflans-Sainte-Honorine, Marly-la-Ville et Méry (Seine-et-Oise), Saint-Maximin et Saint-Vaast-les-Mello (Oise), Crouy, Autresches et la Ferté-Milon (Aisne).

Les pierres tendres proprement dites, dont la taille se paye 2 francs le mètre superficiel, pèsent, en général, de 1,400 à 1,700 kilogrammes et portent de 40 à 90 kilogrammes; quelques carrières, celles de Houilles et de Ressons par exemple, donnent des matériaux dont la résistance descend jusqu'à 30 kilogrammes, mais qui n'ont pas de valeur.

Les meilleures des pierres tendres sont les vergelés,

très-employés à Paris et qui s'exportent en Belgique et en Allemagne; ils proviennent principalement des localités citées plus haut pour leurs bancs royals.

On termine en faisant remarquer que, dans le bassin de Paris en particulier, non-seulement la qualité des matériaux est très-variable d'un banc à un autre, mais encore que souvent la consistance du même banc diffère dans l'étendue de la carrière; il en résulte que les expériences sur la résistance de ces matériaux doivent être très-multipliées et fréquemment renouvelées.

Grès. — On a expérimenté environ cent vingt espèces de grès appartenant à la plupart des formations géologiques, mais surtout aux terrains permien, houiller et triasique; les deux tiers de ces expériences avaient pour objet les grès vosgiens et bigarrés de la région de l'Est, la seule où ce genre de matériaux joue un grand rôle dans les constructions. Les grès sont, en effet, loin de fournir autant de pierres de taille que les calcaires, et présentent aussi de bien moins nombreuses variétés; ces variétés fondées, d'une part sur la grosseur des éléments arénacés, et, de l'autre, sur la nature du ciment siliceux, calcaire ou argileux qui les réunit, n'ont d'ailleurs pas une grande influence sur le poids et la résistance, qui dépendent principalement de l'abondance plus ou moins grande du ciment, ou, si l'on veut, de la porosité des grès.

On s'est donc borné à diviser ces matériaux en deux grandes catégories : les grès durs, dont le poids varie de 2,100 à 2,500 kilogrammes et la résistance de 350 à 780 kilogrammes, et les grès demi-durs et tendres, qui

pèsent de 1,900 à 2,100 kilogrammes et portent de 80 à 300 kilogrammes. Un procédé très-simple permet d'apprécier facilement la porosité d'un grès; il consiste à laisser tomber quelques gouttes d'eau à la surface d'une cassure fraîche; si le grès est tendre, l'absorption est immédiate; elle demande au moins une minute si l'on opère sur un grès dur.

Roches granitiques. — Les deux grandes régions dans la constitution desquelles entrent les roches granitiques, la Bretagne avec les départements voisins, et le plateau central de la France, ont fourni la plus grande partie des quatre-vingt-dix échantillons qui ont été expérimentés, et qui représentent à peu près complétement toutes les variétés de ce genre de roches, utilisées dans les travaux publics.

L'étude des matériaux d'origine éruptive exige d'autres recherches et conduit à d'autres résultats que celle des roches sédimentaires, dont on s'est occupé jusqu'à présent. Ainsi, on remarque d'abord que le poids des granits reste compris dans les limites restreintes de 2,600 à 2,800 kilogrammes par mètre cube, et ne fournit aucune indication sur leur résistance à l'écrasement.

Celle-ci paraît également indépendante de la nature et de la proportion des éléments cristallins qui constituent la roche, granit proprement dit, syénite ou protogine. Quels sont donc les caractères apparents qui permettent de classer ces matériaux au point de vue de leur emploi dans la construction et la décoration? C'est, en premier lieu, leur état de parfaite conservation ou de plus ou moins grande altération, et, en second lieu, la grosseur des cristaux de feldspath et de quartz.

On établira donc d'abord deux grandes divisions : les granits durs, toujours susceptibles de poli et difficiles à tailler, auxquels conviendrait le nom de granits-marbres, et les granits altérés, qui ne prennent pas le poli et se taillent plus facilement, qu'on pourrait appeler granits-pierres.

Les granits-marbres, les seuls employés dans les grands travaux et les ouvrages de luxe, forment deux catégories assez distinctes : la première comprend les granits à grains fins ou leptinites, et les granits communs à grains moyens et réguliers, tels que ceux du Blavet (Morbihan), de Vire (Calvados), de Lavau (Loire-Inférieure), et la protogine d'Épierre (Savoie); la résistance de ces matériaux varie de 1,000 à 1,500 kilogrammes; la seconde catégorie renferme les roches à gros éléments, comme les granits porphyroïdes des environs de Cherbourg et de Brest et les syénites des Vosges, dont la résistance varie de 700 à 1,000 kilogrammes.

Les granits-pierres se divisent, de même, en granits à grains fins et granits à gros éléments; les premiers, tels que ceux du Dorat (Haute-Vienne) et d'Ussel (Corrèze), ne portent, en général, que 600 à 800 kilogrammes; la résistance de ceux qui présentent seulement un commencement d'altération, suffisant cependant pour qu'ils prennent mal le poli, s'élève jusqu'à 900 kilogrammes. Les granits altérés à grands cristaux, ou porphyroïdes, dans lesquels le feldspath est en partie décomposé, comme à Llagonne (Pyrénées-Orientales) et à Pensol (Haute-Vienne), ne portent que 400 à 600 kilogrammes.

Roches volcaniques. — Les pierres volcaniques qui ont

été éprouvées sont en trop petit nombre pour qu'il y ait lieu d'y établir d'autres catégories que celles de trachytes, laves et brèches, suivant leur nature; on se bornera à remarquer que, dans ce genre de matériaux, il existe une relation évidente entre le poids et la résistance. Les trachytes du Cantal et de la Haute-Loire pèsent de 2,180 à 2,600 kilogrammes et portent de 360 à 900 kilogrammes. Les laves, comme celles de Volvic (Puy-de-Dôme) et d'Agde (Hérault), pèsent de 2,000 à 2,180 kilogrammes et portent de 300 à 500 kilogrammes.

Roches diverses. — On a éprouvé également quelques porphyres et autres roches remarquables qui sont sans importance au point de vue des constructions, mais qui présentent des résistances exceptionnelles; on citera le basalte d'Estelle (Puy-de-Dôme) portant 1,879 kilogrammes, propre à l'empierrement; le schiste ardoisier de Villepail (Mayenne), portant 1,400 kilogrammes, très-bon pour dallages; le jaspe-brèche de Saint-Gervais (Haute-Savoie), portant 1,839 kilogrammes, et le porphyre vert de Ternuay (Vosges), portant 1,363 kilogrammes; ces deux dernières roches ont fourni, l'une des chapiteaux, l'autre des fûts de colonnes au nouvel Opéra.

Briques. — On n'a pas eu l'occasion de faire beaucoup d'expériences sur les briques, qui ne sont généralement pas soumises à de fortes charges dans les constructions, et dont la fabrication se perfectionne d'ailleurs chaque jour, sous le rapport de la préparation des matières aussi bien que sous celui de la cuisson.

Les briques les plus dures qui aient été éprouvées provenaient d'une usine récemment installée à Sarcelles; elles portaient, posées à plat, 400 kilogrammes par centimètre carré, le poids du mètre cube étant de 1,800 kilogrammes; les bonnes briques dures, comme celles de Boisguillaume, près Rouen, pesant 1,800 à 1,900 kilogrammes, portent de 200 à 300 kilogrammes. Lorsqu'elles sont bien cuites, les briques façon Bourgogne, de Paris, pesant 1,700 kilogrammes, portent de 90 à 120 kilogrammes, et les briques communes, du poids de 1,500 à 1,600 kilogrammes, ont une résistance de 40 à 60 kilogrammes. On se propose de reprendre cette année l'étude de ce genre de matériaux, en y comprenant celle des briques creuses ou tubulaires, si employées aujourd'hui, et dont la résistance serait, à section égale, comparativement plus grande que celle des briques pleines, ce qui s'explique par le plus grand développement de la surface vue et, par conséquent, plus cuite.

Ciments. — Il a été fait un nombre assez considérable d'essais sur les mortiers de chaux et les ciments de diverses provenances, mais plus particulièrement sur les ciments à prise lente dits *Portland*, dont on fait actuellement un très-grand usage dans les travaux des ports et de la navigation. On citera deux séries d'expériences effectuées avec le concours de M. Édouard Leblanc, ingénieur du port de Boulogne, qui s'était chargé de confectionner et de conserver dans l'eau de mer les cubes destinés à notre machine, en même temps que les briquettes dont il a lui-même éprouvé simultanément la résistance à l'arrachement; les uns et les autres présentaient une section de 16 centimètres carrés.

Nos premiers essais ont eu pour objet le ciment Portland de l'usine Demarle et Cie, à Boulogne-sur-Mer, employé au bassin à flot de ce port; nous avons éprouvé de mois en mois pendant deux ans, de 1862 à 1864, deux séries d'échantillons formés, les uns de ciment pur, les autres de mortier contenant deux parties de sable pour une de ciment.

Les résultats de ces essais sont résumés dans le tableau suivant :

ÂGES.	CIMENT PUR.		MORTIER.	
	RÉSISTANCE à l'écrasement.	RÉSISTANCE à l'arrachement.	RÉSISTANCE à l'écrasement.	RÉSISTANCE à l'arrachement.
1 mois.	152k	18k	36k	10k
2 mois.	189	25	48	13
4 mois.	209	32	53	15
6 mois.	236	29	77	17
8 mois.	248	32	114	18
1 an.	253	32	133	19
2 ans.	251	28	128	20

De nouvelles expériences du même genre ont été effectuées, de 1866 à 1869, sur sept natures de ciments à prise lente, dont cinq provenant d'usines des environs de Paris et les deux autres de Boulogne et de Neufchâtel (Pas-de-Calais); ces expériences, portant, comme les précédentes, sur des échantillons de ciments purs et de mortiers à deux volumes de sable, ont donné des résultats tout à fait analogues aux premiers. On pourrait en conclure que la résistance des ciments Portland immergés dans l'eau de mer croît d'abord

assez rapidement durant les six premiers mois, beaucoup plus lentement de six mois à un an, et qu'ensuite, jusqu'à deux ou trois ans, elle reste stationnaire, si même elle ne tend à diminuer, même pour les produits le mieux fabriqués, comme le ciment de Boulogne, dont la qualité égale au moins celle des meilleurs Portland anglais. Ces résultats, s'ils étaient bien constatés, seraient de nature à ébranler la confiance, assez générale aujourd'hui, des ingénieurs dans l'emploi des ciments à prise lente pour les travaux maritimes; ils doivent au moins appeler leur attention et les engager à répéter nos expériences, en y apportant beaucoup de soins et en les continuant pendant plusieurs années.

Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que, à partir du durcissement complet, la résistance à l'arrachement est environ de 1/8 de la résistance à l'écrasement, pour le ciment Porland pur, de 1/7, pour le mortier à deux parties de sable.

La machine, dont le dessin figure à l'Exposition, a été établie suivant le projet de M. l'ingénieur en chef Michelot, chargé des recherches statistiques sur les matériaux de construction; l'exécution en a été confiée à MM. Nepveu et Servel et à M. A. Clair, constructeurs mécaniciens à Paris.

Les expériences sur la résistance à l'écrasement, qui ont porté sur plus de dix mille échantillons, ont été faites, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Michelot, par MM. Doens et Pouillaude, conducteurs des ponts et chaussées, et surtout par M. Dège, piqueur, attachés au service des Recherches statistiques.

XXXVII.

APPAREIL

EMPLOYÉ

POUR MESURER DIRECTEMENT LE TRAVAIL DU FER

DANS LES DIFFÉRENTES PIÈCES D'UNE POUTRE À TREILLIS.

COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS.

Dessins aux échelles de $0^m,05$, $0^m,10$ et $0^m,20$.

Dans le but de connaître, aussi exactement que possible, les effets de tension et de compression qui se produisent dans les diverses barres de fer dont les poutres à treillis sont composées, la compagnie d'Orléans a fait faire de nombreuses expériences sur une poutre en tôle de 12 mètres de longueur et de $1^m,20$ de hauteur; et les résultats obtenus doivent permettre de modifier à l'avenir la distribution du métal, de manière à obtenir une économie très-notable dans la construction des poutres en tôle.

Pour reconnaître directement les effets produits sur chaque barre, pour juger de la nature de ces effets, soit de tension, soit de compression, et pour mesurer exactement leur intensité, M. l'ingénieur en chef Dupuy a imaginé

un levier coudé, dont le dessin exposé indique les dispositions. Il est composé de la manière suivante :

Une tige de fer est percée, vers ses extrémités, de deux trous, A et B, dont les centres sont distants exactement de 1 mètre; cette première tige s'assemble, à l'une de ses extrémités B, avec l'extrémité d'une autre tige percée de trois trous, C, D, E, dont les centres C et D sont espacés de 5 centimètres, et les centres D et E, de 1 mètre.

Ces deux tiges, ainsi assemblées, forment un levier coudé.

Maintenant, sur chaque barre de fer à éprouver, on perce deux trous, calibrés très-exactement, et distants l'un de l'autre de 1 mètre; on fixe les deux tiges du levier coudé par les points A et D, et l'on dispose les charges d'épreuve.

Si une barre se trouve soumise à un effet de tension, elle s'allonge; les points A et D s'éloignent l'un de l'autre, les deux tiges du levier coudé tournent autour du centre C, l'angle qu'elles forment entre elles s'ouvre, et, d'après le rapport des parties CD et DE, l'extrémité E parcourt un espace vingt fois plus grand que l'allongement réel subi par la barre éprouvée.

Pour une autre barre subissant un effet de compression, les points A et D se rapprochent l'un de l'autre, les deux tiges du levier tournent autour du centre C de manière à refermer l'angle qu'elles forment entre elles, et l'extrémité de la tige mobile E parcourt toujours un espace vingt fois plus grand que le raccourcissement réel. Un cadran gradué, disposé à cet effet, sert à mesurer les espaces parcourus par l'extrémité E de la branche mobile du levier.

L'appareil a d'abord été essayé à mesurer l'allongement de plusieurs barres de fer, qui étaient fixées solidement à leur partie supérieure, et qui portaient, à leur partie inférieure, un plateau sur lequel on disposait les poids.

Pour éviter de percer les barres à éprouver, on avait fixé à ces barres, au moyen d'un serrage énergique, des étriers qui portaient, l'un l'extrémité de la tige, l'autre le pivot de l'aiguille.

On avait adapté d'ailleurs sur les étriers deux appareils, l'un en avant, l'autre en arrière de la barre, afin de corriger les petites erreurs résultant de la torsion que les pièces éprouvaient sous l'action des charges.

On a éprouvé successivement des barres méplates :

de 200^{mm} sur 93^{mm}
de 270^{mm} sur 52^{mm}
de 157^{mm} sur 36^{mm}

et l'on a trouvé très-sensiblement les mêmes allongements proportionnels, savoir :

$0^{mm},09$	sous une charge de	2 kilogr. par millimètre carré.
0 ,18	.....	4
0 ,28	.....	6
0 ,37	.....	8

résultats qui s'éloignent très-peu du chiffre généralement admis, de $0^{mm},50$ sous une charge de 10 kilogrammes par millimètre carré de section.

La poutre qui fut ensuite soumise aux expériences était composée de deux plates-bandes, réunies ensemble par un treillis, dont les barres étaient inclinées à 45°. Chaque

plate-bande était formée d'une lame horizontale de 220^{mm} sur 20^{mm}, d'une lame verticale de 250^{mm} sur 20^{mm}, et de deux cornières de 100^{mm} sur 100^{mm} et sur 12^{mm}; pour le treillis, les barres inclinées vers les points d'appui étaient des fers cornières de 75^{mm} sur 75^{mm} et sur 10^{mm}.

Les barres, inclinées en sens inverse, étaient en fer plat de 140^{mm} sur 9^{mm}; et les deux extrémités étaient renforcées par un panneau plein.

Chacune des barres du treillis fut munie d'un levier coudé, tel qu'il vient d'être décrit précédemment.

Les résultats obtenus par ces expériences ont montré que les effets produits sur les barres du treillis étaient à peine la moitié de ceux indiqués par les formules ordinairement employées; et que, vers le milieu de la poutre, les barres inclinées vers les points d'appui se trouvaient soumises à des tensions, tandis que les barres inclinées en sens inverse se trouvaient soumises à des compressions; ce qui est en contradiction avec les hypothèses que l'on admet ordinairement.

Il paraît donc bien certain que la rigidité des assemblages dans les poutres en tôle, dont toutes les parties sont rivées avec soin, a une grande influence sur la flexibilité et sur la force des poutres à treillis; il serait très-utile de mesurer les effets réels qui se produisent sur les grandes poutres des ponts existants; et l'appareil à levier, imaginé par M. Dupuy, donne pour cela un moyen très-pratique et très-facile à appliquer.

Les travaux des nouvelles lignes construites par la compagnie d'Orléans sont placés sous la haute direction de M. Didion, inspecteur général des ponts et chaussées, délé-

gué général du conseil de la compagnie, et de M. Solacroup, directeur de la compagnie. Ils sont dirigés par M. Morandière, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de la construction, et par M. Dupuy, ingénieur des ponts et chaussées, ingénieur en chef de la compagnie.

XXXVIII.

APPLICATION DE LA DYNAMITE

AU CASSAGE DES GLACES.

Dessins à des échelles variant de $0^m,001$ à 1^m.

Les premiers essais qui aient été faits pour casser, avec la dynamite, les glaces des rivières, ont eu lieu à Paris, pendant le siége, dans le but de dégager les canonnières emprisonnées, au Port-à-l'Anglais, dans les glaces de la Seine. Ces tentatives n'ont donné qu'un résultat à peu près nul; les cartouches de dynamite placées sur la glace y faisaient un trou sans produire de cassure étoilée, et les conducteurs qui ont dirigé l'opération ont déclaré qu'on faisait un travail plus rapide et meilleur avec des haches à main.

Les mêmes tentatives étaient répétées sans plus de succès, en décembre 1871, sur la Saône, à Pontailler, pour essayer de dégager un pont en charpente menacé par les glaces; lorsque M. Gobin, ingénieur des ponts et chaussées, à Lyon, eut l'idée d'essayer un nouveau système, qui lui a très-bien réussi. Voici dans quelles circonstances :

La persistance et l'intensité du froid qui a sévi sur toute la France en décembre 1871 avaient produit sur quelques points du Rhône, dans la traversée de Lyon, des amoncellements de glace qui menaçaient sérieusement les nombreux établissements flottants stationnaires sur le fleuve, et pou-

vaient occasionner de graves sinistres au moment de la débâcle, si le dégel était brusque et coïncidait avec une petite crue du fleuve.

Préoccupé de cette situation, M. Gobin a fait, les 16 et 17 décembre 1871, des essais sur l'emploi de la dynamite pour briser les glaces et déblayer le chenal de navigation. Ces expériences ont eu lieu en aval du pont Lafayette et en face de la manufacture des tabacs.

Les résultats obtenus ont été tels, qu'on a pensé qu'il y aurait quelque utilité à faire connaître cette nouvelle application de la dynamite, avec les précautions nécessaires pour obtenir de bons résultats.

Dans les essais précédemment tentés, l'explosion des cartouches de dynamite placées sur la glace et recouvertes d'une couche de sable ou de mortier d'argile, produit un simple trou sans longues fentes, même suivant la ligne de moindre résistance; résultat qui est conforme, du reste, à l'action et aux effets ordinaires de cette matière. Pour détacher de gros blocs de glace d'une masse occupant une large surface, il faut produire une pression presque horizontale dirigée du côté du bord; on a atteint ce but en procédant au cassage de l'aval à l'amont, afin de permettre au courant d'entraîner dans les espaces libres les blocs détachés.

A 14 mètres du bord libre de la glace qui, dans ces expériences, présentait une section franche de 18 à 20 centimètres d'épaisseur, on a pratiqué à la hache, parallèlement à ce bord, une entaille de 1 mètre de longueur et de 4 à 5 centimètres de profondeur, présentant une section en forme de V; la face la plus voisine du bord étant verticale, tandis que l'autre était en talus très-doux. La dynamite a

été renfermée dans un boudin, de 80 centimètres à 1 mètre de longueur, entouré de sciure de bois et de papier ciré pour éviter la gelée ; cette cartouche, ainsi confectionnée et amorcée, a été placée dans l'entaille contre la face verticale, puis recouverte d'une couche de sable de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, plus chargée du côté du talus, afin de diriger la force explosive sur la face verticale.

L'explosion produit alors plusieurs fissures qui sont généralement parallèles au bord de la glace et qui ont 40 à 50 mètres de longueur de chaque côté. On a même obtenu une explosion qui a donné une fissure de 58 mètres de longueur d'un côté et de 160 mètres de l'autre. La masse ébranlée a été, dans ce cas, de 9,000 mètres carrés de surface de glace, ou 1,800 mètres cubes. La charge de chaque boudin n'était que de 210 grammes de dynamite n° 3.

Les blocs ainsi détachés sont donc énormes, puisqu'ils mesurent de 1,000 à 2,000 mètres carrés de surface, en trois ou quatre morceaux. Pour les diviser davantage, on a employé le mode suivant qui a très-bien réussi.

On perce verticalement au centre du bloc, à 8 mètres environ de distance des bords, un trou de 8 à 10 centimètres de diamètre, et on y passe une cartouche ordinaire fixée à une mèche étanche en gutta-percha. A cette mèche est attaché en travers un morceau de bois, qui s'appuie sur la glace au-dessus du trou et retient le tout suspendu dans l'eau. La longueur de la mèche est calculée de manière à ce que la cartouche soit placée de 70 centimètres à 1 mètre environ de profondeur au-dessous de la face inférieure de la glace; c'est la distance que l'expérience a

démontré être la plus convenable. Si la glace était plus épaisse, il faudrait réduire cette profondeur, et inversement. Ces cartouches ne contiennent que 17 ou 35 grammes de dynamite; leur explosion fait vibrer la glace et produit des fissures rayonnantes de 10 à 30 mètres de longueur, qui s'ouvrent quelque temps après l'explosion.

Si l'on emploie des cartouches de 70 grammes de dynamite, la profondeur ci-dessus doit être augmentée et portée à $1^{m},50$; on peut alors opérer sur de plus gros blocs et à de plus grandes distances des bords. On reconnaît, du reste, que la profondeur est convenable lorsque l'explosion ne produit pas de projections extérieures. Ce système de mines sous-marines peut être employé seul, à une certaine distance du bord de la masse à déblayer; il réussit très-bien aussi lorsqu'on l'applique à des glaçons déjà détachés et limités dans tous les sens.

Il est indispensable de faire dégeler préalablement les cartouches et d'éviter la congélation de la dynamite en opérant rapidement; cette matière durcit, en effet, lorsqu'elle est exposée à une température inférieure à + 7 degrés centigrades et ne détone pas dans cet état. C'est pour cela qu'il est bon d'entourer de sciure de bois les cartouches à plonger dans l'eau et de les renfermer dans une seconde enveloppe de papier ciré, comme pour les boudins.

L'emploi des boudins réussit moins bien lorsque la glace est plus mince ou moins résistante; il faut alors diminuer la charge et mettre un peu de sciure de bois avec la dynamite pour en modérer l'effet. Les mines sous-marines employées seules suffisent aussi dans ce cas et sont même préférables.

C'est par ce procédé qu'on a pu faire disparaître, en

une seule journée, les 50,000 mètres carrés de glace qui obstruaient le lit du Rhône entre les ponts de la Guillotière et du Midi : quatre hommes ont suffi à cette opération, et la dépense totale n'a pas dépassé 40 francs.

Le même procédé a été appliqué sur la Saône, dans la traversée et en amont de Lyon. L'emploi des boudins de surface, étant plus délicat et exigeant beaucoup de soins pour bien réussir, a été généralement abandonné; les mines sous-marines ont été à peu près exclusivement employées et ont donné d'excellents résultats. Les grands amoncellements de glace ont été brisés et disséminés, et la débâcle, qui avait fait naître de si grandes craintes, s'est effectuée sans aucun accident.

M. Fontaine, ingénieur des ponts et chaussées à Dijon, a eu recours au même moyen pour dégager le pont de Pontailler, et voici ce qu'il a écrit à ce sujet le 6 février 1872 :

« Nous sommes parvenus à sauver notre pont en char-
« pente de Pontailler, qui, léger jusqu'à la limite, était fort
« menacé.

« Pour nous donner du champ, nous avions, avant la
« débâcle, qui a eu lieu les 5 et 6 janvier, cassé entière-
« ment les glaces sur 40 à 50 mètres de largeur, et sur
« 1,300 mètres de longueur à l'amont et autant à l'aval. La
« dynamite nous a été pour cela d'un secours merveilleux,
« et nous n'aurions pu y réussir sans elle.

« Des cartouches de 60 grammes, placées à $1^{m},50$ de
« profondeur sous la glace, ont brisé, très-fréquemment,
« chacune 6 à 7,000 mètres carrés de glace en dix ou
« quinze morceaux. Il y avait donc 1,200 mètres cubes de
« glace ébranlés, soit environ 1,200,000 kilogrammes ou

« un poids 20 millions de fois plus grand que celui de la « charge. »

D'après les succès ainsi obtenus sur le Rhône et sur la Saône, il est question d'utiliser les mêmes moyens pour briser, en hiver, les glaces du canal de Berry.

Dans un pareil cas, et s'il s'agit d'un canal qui ne présente jamais qu'une faible largeur, il convient d'abandonner les boudins superficiels et de n'employer que des explosions sous-marines, obtenues avec des demi-cartouches de 35 grammes de dynamite n° 3, coûtant 4 fr. 50 cent. le kilogramme. Il est inutile de prendre des cartouches étanches, qui coûtent plus cher. Si, d'après l'épaisseur de la glace et la profondeur d'eau, on voit que les demi-cartouches sont encore trop fortes, on les subdivise en deux, ce qui est facile, puisque l'enveloppe se compose d'un simple papier fort.

Les mèches en gutta-percha se vendent, par paquet de 10 mètres, à raison de 15 centimes le mètre. Il faut les conserver dans un lieu sec et à une température douce, afin que le froid ne durcisse pas la gutta-percha. Sans cette précaution, l'enveloppe durcie se fend lorsqu'on déroule la mèche, et l'eau peut pénétrer jusqu'à l'âme porte-feu et occasionner des ratés. On peut, du reste, remédier à ce défaut des mèches en enduisant les fissures avec du suif.

Les capsules sont simples, à 3 fr. 50 cent. le cent, ou doubles, à 5 fr. 60 cent. Ce sont ces dernières dont on s'est servi et dont on conseille l'emploi, parce qu'elles sont plus faciles à fixer à la mèche et qu'elles donnent une plus forte explosion.

Pour fixer la mèche à la capsule, on en amincit le bout

pour pouvoir l'introduire dans la capsule jusqu'au fulminate; puis on serre, avec une pince, les bords de l'ouverture de la capsule contre la mèche. Cela suffit pour bien attacher la mèche à la capsule et empêcher que l'eau pénètre dans cette dernière.

Par surcroît de précaution, on a fait placer au point de jonction un petit anneau en caoutchouc, obtenu en coupant avec des ciseaux un petit tube de cette matière, d'un diamètre un peu inférieur à celui de la capsule. On a remplacé aussi cet anneau en caoutchouc par un suiffage du joint, beaucoup plus simple dans la pratique et qui suffit parfaitement.

La capsule est ensuite introduite dans la cartouche de dynamite, dont l'enveloppe est fixée à la mèche au moyen d'une ligature. Il est bon que la capsule dépasse un peu le niveau de la dynamite, afin que la mèche, en brûlant, n'enflamme pas celle-ci avant de faire détoner la capsule.

Quand on doit diviser les cartouches pour en faire de plus petites, il faut qu'on ait la précaution de ne pas porter les mains à la figure et de se laver au savon immédiatement après la manipulation; sans cela, on s'exposerait à de violents maux de tête, comme les premiers expérimentateurs en ont fait l'épreuve à leurs dépens.

Il est bon d'être prévenu que les explosions sous-marines engourdissent les poissons qui se trouvent dans un certain rayon et les font venir à la surface, où on peut les prendre facilement. Les grosses pièces reviennent à la vie au bout de quelque temps, mais les petits poissons périssent le plus souvent. Cependant, ce n'est pas en cassant les glaces que l'on a reconnu cet effet, parce qu'alors le poisson était

caché sous des pierres, dans de grands fonds, et naturellement engourdi, ou bien parce qu'il a été chassé par les premières explosions; aussi n'en a-t-on vu aucun à la surface de l'eau. Ce sont des expériences spéciales faites au printemps, à Lyon, dans les fossés du fort de la Vitriolerie, qui ont permis d'étudier cette question, et il a paru intéressant de la signaler dans l'intérêt de la conservation du poisson.

Cependant, on n'a pas à s'inquiéter outre mesure de cet inconvénient, parce que, comme on procède de proche en proche, les poissons sont chassés par les explosions éloignées avant de pouvoir être atteints.

L'application du procédé qui vient d'être décrit peut, d'ailleurs, être faite non-seulement pour éviter les débâcles, mais encore pour dégager les navires pris dans les glaces; pour empêcher, en temps de guerre, le passage de l'ennemi sur certains points des rivières gelées; pour briser la glace des fossés des fortifications des places assiégées, etc.

Les expériences et les méthodes, d'un usage pratique, dont il vient d'être rendu compte sont entièrement dues à M. Gobin, ingénieur des ponts et chaussées, chargé du premier arrondissement du service du Rhône, sous les ordres de M. Tavernier, ingénieur en chef.

Les opérations d'essai ont été exécutées avec le concours de M. Grenier, entrepreneur de travaux publics et dépositaire de la dynamite fabriquée à Paulille (Pyrénées-Orientales).

XXXIX.

DISQUE AUTOMOTEUR,

SYSTÈME MOREAU,

EXPÉRIMENTÉ PAR LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD.

Un modèle à l'échelle de $0^{m},20$.

Ce disque est disposé de manière à pouvoir fonctionner automatiquement au passage des trains, ou à volonté, comme les disques à distance ordinaires, au moyen d'un levier à la disposition d'un garde.

Au passage d'un train, la première roue fait abaisser une pédale placée contre le rail et déclenche le disque, qui se met à l'arrêt. Une sonnerie électrique indique à la gare et au garde que le disque est à l'arrêt et que le train, par conséquent, est couvert.

Quand il y a lieu de rouvrir la voie, le garde, au moyen de son levier, simule d'abord la manœuvre correspondant à la fermeture du disque, et peut alors, par la manœuvre ordinaire, remettre son disque à voie libre.

Par une disposition ingénieuse, la pédale, abandonnée par la pression de la première roue, ne se relève qu'à la remise à voie libre du disque, ce qui évite une série de secousses aux différents organes de l'appareil, secousses qui produiraient certainement des dérangements dans le mécanisme.

Ce système a été appliqué à plusieurs disques du chemin de fer du Nord par M. l'ingénieur Alquié, sous la direction de M. Couche, ingénieur en chef.

L'inventeur est M. Moreau, manufacturier à Séclin (Nord).

XL.

PROFILS GÉOLOGIQUES DE PARIS À L'OCÉAN ET AUX PYRÉNÉES.

Un volume renfermé dans un étui.

Exposé. — L'unité de la France, sa division territoriale, sa variété comme sa richesse de productions, résultent de conditions naturelles. MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy l'ont dit en publiant la carte géologique de la France; on peut en confirmer les preuves en profitant des tranchées ouvertes et des lignes de circulation créées par les chemins de fer.

Si l'on suit la route de Brest, puis celle de Toulouse; que l'on se dirige vers l'Océan, puis vers les Pyrénées, on voit les anciens noms de provinces répondre à des masses minérales distinctes, et l'on reconnaît que de ces couches de fond sont sortis une culture, des animaux, une architecture également variés où l'influence du sol est aussi grande que celle du climat.

Le trajet de Paris à l'Océan peut s'effectuer par la voie de l'Ouest, qui traverse Versailles, Chartres, le Mans, Laval, Rennes, Saint-Brieuc, Morlaix, Brest. Le retour se fait par le réseau de la compagnie d'Orléans qui dessert Quimper, Lorient, Vannes, Nantes, Angers, Tours; une transversale, partant du Mans, jette une branche vers Angers à gauche,

tandis qu'à droite elle plonge vers Alençon, Caen et Cherbourg. Au terme de cette course de 1,650 kilomètres, on reconnaît la Beauce, le Maine, la Touraine et l'Anjou, la Normandie et la Bretagne.

De Paris aux Pyrénées, on suit la ligne directe de Toulouse par le massif central, dans le réseau des compagnies d'Orléans et du Midi. On traverse Orléans, Châteauroux, Limoges, Périgueux; au delà de Brives, on discerne le pays de Cahors, de Rodez, d'Albi. On s'arrête à la Garonne, à Toulouse. Là, on est en face de la chaîne pyrénéenne, qu'il faut franchir pour découvrir la traversée centrale vers l'Espagne. On a, sur ce parcours de 1,000 kilomètres, observé la Beauce et la Sologne, le Berry, le Limousin, le Périgord, le Quercy, le Rouergue et le Languedoc.

Exemples. — Pour reconnaître l'accord de la géologie avec les divisions territoriales, il suffit de prendre quelques exemples marqués aux profils par l'uniformité des teintes coloriées.

La Beauce et la Sologne. — Dans les terrains modernes, la formation la plus développée est la Beauce; son nom seul éveille l'idée d'une riche production en blé; c'est un fond de lac couvert d'une couche de loëss, avec un sous-sol de calcaire siliceux; on y trouve peu d'arbres et rarement de l'eau; mais le travail de la terre est facile. La grande culture s'y livre principalement à la production des céréales et à l'élevage des chevaux de labour et des moutons. Les maisons sont construites en briques, mais le calcaire siliceux n'y manque pas, et son emploi dans les constructions peut

servir à bâtir des monuments comme la cathédrale de Chartres.

Plus loin, le même terrain, recouvert par des sables argileux venus probablement du massif central, devient la Sologne. Ici l'on ne rencontre plus guère que des bois et de maigres pacages à moutons; la culture s'y complique d'une difficulté essentielle, l'assainissement.

La Bretagne. — Dans les terrains anciens, l'îlot de Bretagne dut émerger le premier : son sillon de montagnes basses n'atteint pas 400 mètres d'altitude. Le sol, dans les parties où il n'est pas décomposé, porte la lande et la forêt; le cheval, la vache laitière, les animaux en général, sont petits, sobres; les populations s'agglomèrent sur les anses profondes du bord de la mer. Les maisons, les églises, ont la sévérité du granit et du schiste.

Le Limousin. — Le massif du Limousin, d'âge postérieur à la Bretagne, a déjà des cimes, des plateaux qui montent à 650 mètres; le versant nord est rude ; des coulées de prairies tapissent les cassures du rocher et nourrissent des bœufs de travail et de bons chevaux; on y rencontre la zone du châtaignier. Le versant sud, plus décomposé, plus chaud, présente plus de cultures. Au pied du massif, un revêtement de marnes irisées contient le joli bassin de Brives, où les arbres fruitiers viennent avec précocité et abondance. Un peu plus loin, le Rouergue montre ses roches granitoïdes, ses charbons, ses filons de minerais de fer, qui motivent les grands établissements d'Aubin et de Decazeville.

Les Pyrénées. — La région pyrénéenne, la plus moderne parmi les trois soulèvements, a des pics qui vont à 3,500 mètres, et que couronnent les neiges et les glaciers; le granit du noyau n'apparaît que par pointements; les torrents coulent à travers les fentes profondes des schistes anciens, et jusque dans les érosions des couches secondaires. Les prairies sont belles, bien irriguées, fournies d'une herbe abondante. Les races sont encore le bœuf de travail et le cheval léger. On y rencontre enfin des richesses minérales comme les marbres griotte et statuaire, et aussi les eaux chaudes et sulfureuses qui alimentent de nombreux établissements thermaux.

Le problème de la traversée de la chaîne des Pyrénées se résout très-heureusement par un tracé à ciel ouvert : on remonte le cours de la Garonne jusqu'à ses sources, au plateau situé à la cote de 1,890 mètres; et, du même point, partent les sources d'un affluent de l'Èbre. La muraille des Pyrénées, brisée en ce point, ouvre à la voie ferrée l'entrée de l'Espagne.

Les profils de Paris à l'Océan et aux Pyrénées sont dus à la collaboration de MM. Mille et Delesse, ingénieurs en chef; Thoré, ingénieur ordinaire, et Guiller, conducteur, chargé des levés et de l'ordonnance générale. La ligne de Paris à l'Océan a eu aussi la coopération supérieure de M. Triger, mort avant que l'œuvre fût finie.

XLI.

COLLECTION DE VUES PHOTOGRAPHIQUES.

Vingt-deux albums.

Une série d'albums composés de vues représentant les principaux ouvrages exécutés sur les diverses voies de communication de la France.

Cette collection présente de nombreuses lacunes, que l'Administration des travaux publics se réserve de compléter ultérieurement.

XLII.

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

UNE COLLECTION DE DOCUMENTS [1].

RENSEIGNEMENTS HISTORIQUES SUR LA CRÉATION DE L'ÉCOLE.

La création de l'École des ponts et chaussées remonte à plus d'un siècle [2].

Dès 1744, sur la proposition de Daniel Trudaine, intendant des finances, chargé du détail des ponts et chaussées, il avait été décidé qu'il serait procédé à la levée des plans et cartes des routes et grands chemins du royaume. A cet effet, un arrêt du conseil du roi, du 14 février 1747, avait institué le bureau des dessinateurs et le dépôt des plans. Perronet, alors ingénieur des ponts et chaussées de la généralité d'Alençon, fut appelé à Paris afin d'avoir la conduite et l'inspection de ce service.

Un autre objet de la nouvelle institution était d'instruire « lesdits dessinateurs des sciences et pratiques nécessaires

[1] Voir, à la fin de la notice, la nomenclature des documents exposés.

[2] Le corps des ponts et chaussées proprement dit, d'origine plus ancienne, a été institué par arrêt du conseil du roi en date du 16 février 1716.

« pour parvenir à remplir avec capacité les différents emplois « desdits ponts et chaussées. »

Telle est l'origine première de l'École des ponts et chaussées, institution à laquelle le nom illustre de Perronet doit rester à jamais attaché.

Avant cette époque, comme le rappelle M. de Prony dans une note à laquelle est empruntée une partie de ces détails, le recrutement du corps des ponts et chaussées ne s'était opéré suivant aucun mode régulier. On choisissait les ingénieurs parmi les hommes reconnus pour avoir fait preuve de talent en architecture, et, en général, dans la pratique des constructions. Ainsi, ces ingénieurs ne se préparaient à leur art que par des études isolées, toujours très-incomplètes. La plupart même ne s'étaient jamais occupés d'études théoriques et ne connaissaient d'autre guide que l'imitation et la routine.

La moindre conséquence de cet état de choses était un manque absolu d'uniformité dans l'observation des méthodes, dans la confection des projets, dans l'exécution des travaux, dans les règles de la comptabilité.

Entre 1755 et 1760, à une date qu'il est difficile de préciser bien nettement, le bureau des dessinateurs, sans qu'aucun acte public fût venu changer ses conditions d'existence, figure indifféremment, dans le langage habituel, ou sous son ancien nom, ou sous le nouveau nom d'École des ponts et chaussées.

C'est seulement dans l'instruction émanée de Turgot, le 19 février 1775, que l'on voit pour la première fois donner officiellement au bureau des dessinateurs le titre d'École des ponts et chaussées.

Le personnel, formé de soixante-dix employés, était partagé en trois classes : la première, celle des sous-ingénieurs ou inspecteurs ; la deuxième, celle des employés élèves ; la troisième, composée des jeunes gens les moins instruits, admis seulement à titre d'auxiliaires.

Ainsi se dessinait, sous l'autorité scientifique et morale de Perronet, un véritable plan d'organisation d'école.

La partie faible de cette institution était toujours l'enseignement. Les plus forts élèves de chaque classe devaient suivre, au dehors, des cours d'architecture, de physique, de minéralogie ; et ils étaient chargés ensuite de les professer à leurs camarades avec les mathématiques pures, la mécanique, la coupe des pierres, le dessin, etc.

Tel fut l'état de l'École des ponts et chaussées de Paris jusqu'à la première Révolution.

Le 19 janvier 1791, l'Assemblée nationale décréta une loi sur les ponts et chaussées dont le titre III portait en substance :

« Il y aura une École gratuite et nationale des ponts et « chaussées.

« Cette école sera dirigée par le premier ingénieur et par « un inspecteur sous ses ordres.

« Il y aura un enseignement permanent ; les places de « professeurs continueront à être remplies par des élèves, « qui, après des concours et des examens, seront jugés les « plus dignes de cet emploi.

« Soixante élèves seront admis à l'École et divisés en trois « classes, de chacune vingt élèves.

« Les élèves seront choisis dans tous les départements à

« la suite de concours publics passés devant un jury spécial, « dans les formes qui seront déterminées par un règlement « particulier.

« Les élèves seront appointés. »

A la mort de Perronet [1], au moment où, sur sa désignation même, Lamblardie était appelé à lui succéder comme directeur, la fondation de l'École dite *des travaux publics*, et sa transformation sous le nom *d'École polytechnique* compromirent un moment le sort de l'École des ponts et chaussées.

Heureusement on ne tarda pas à abandonner le projet de substituer l'École polytechnique à toutes les écoles spéciales, et la loi du 22 octobre 1795 régla définitivement les rapports de ces différentes écoles entre elles.

Le titre V de cette loi contient, entre autres dispositions importantes, les articles ci-après :

« Article premier. L'École des ponts et chaussées créée « en 1747, instituée de nouveau conformément à la loi du « 19 janvier 1791, est conservée comme école d'application.

. . . . . .

« Art. 3. Les élèves seront au nombre de trente-six . . .

. . . . . .

« Art. 4. Les élèves seront tirés de l'École polytechnique.

. . . . . .

« Art. 5. L'instruction qui sera donnée à l'École des ponts

[1] Perronet est mort le 27 février 1794, à l'âge de quatre-vingt-cinq ans.

« et chaussées aura principalement pour objet l'application « des principes de physique et de mathématiques à l'art de « projeter et de construire les ouvrages relatifs aux routes, « aux canaux, aux ports maritimes et aux édifices qui en dé- « pendent; les moyens d'exécution et de pratique, les formes « établies pour la rédaction des devis et détails estimatifs « des ouvrages à exécuter, et l'ordre à tenir dans la compta- « bilité. »

Ce nouveau mode de recrutement parmi les élèves préalablement instruits à l'École polytechnique devait nécessairement introduire des modifications fondamentales dans l'enseignement et dans le système d'études de l'école d'application.

Lamblardie ne faillit pas à la tâche de cette importante transformation. Dans un projet de règlement présenté par lui, on voit apparaître, pour la première fois, l'institution de deux professeurs, pris en dehors des élèves, chargés d'enseigner l'application de la mécanique à la science de l'ingénieur, et les principes d'exécution des constructions publiques.

Mais, avant que le nouveau régime projeté ait été adopté, l'École perd son second directeur; il est momentanément remplacé par M. de Chezy. Enfin, en 1798, M. de Prony prend, cette fois pour une période de quarante et un ans, la direction de l'École des ponts et chaussées.

M. de Prony rédige tout d'abord et, plus heureux que son prédécesseur, il fait approuver, dès l'an 1798, un programme développé d'instruction; il obtient que l'enseignement de l'École soit confié à trois professeurs chargés d'en- « seigner : la mécanique appliquée; la stéréotomie appliquée

« aux arts du dessin, à la coupe des pierres et à la charpente; « et enfin la construction et les arts qui s'y rattachent. »

Aucun changement notable n'avait été d'ailleurs apporté dans le régime, dans le mode de travail intérieur ni dans la discipline de l'École, lorsque l'Empereur, par décrets du 25 août 1804, vint statuer à la fois sur l'organisation du corps et de l'École des ponts et chaussées, et sur le règlement intérieur de cette école.

Le décret de 1804, que l'on peut qualifier à juste titre d'organique, a subsisté jusqu'à nos jours, et il a même survécu, quant à ses principales dispositions, dans les deux décrets du 13 octobre 1851, qui demeurent finalement aujourd'hui comme la charte constitutive du corps et de l'École des ponts et chaussées.

En terminant ce résumé de l'histoire de l'École, il convient de rappeler que c'est à M. l'inspecteur général Defontaine et à la commission de 1839, que remonte le projet de réglementation intérieure qui a apporté de si grands progrès dans les études; et que c'est à M. l'inspecteur général Bommart, que revient le mérite d'avoir fait passer dans la pratique des réformes dont l'École et le corps des ponts et chaussées tout entier ont le bonheur aujourd'hui de recueillir les fruits.

ORGANISATION ACTUELLE DE L'ECOLE.

Recrutement. — Depuis 1795, et conformément à l'esprit de son institution, l'École des ponts et chaussées, destinée à alimenter le corps des ingénieurs de l'État, se re-

crute exclusivement à l'École polytechnique; on peut même ajouter que ses élèves ne sont empruntés qu'à l'élite de chaque promotion.

Effectif. — A envisager l'ensemble des soixante-dix-huit dernières années, le nombre d'élèves admis dans le service des ponts et chaussées a été moyennement, en chiffre rond, de vingt par année.

La rentrée de l'École a lieu tous les ans au 1er novembre.

Les élèves passent trois années, partagées entre l'enseignement de l'École proprement dit et l'enseignement pratique des missions.

Les travaux intérieurs de l'École se prolongent du mois de novembre au mois de mai. Les missions embrassent ensuite toute la période du mois de juin au 30 octobre.

Régime intérieur. — Le régime de l'École est celui d'une demi-liberté. Appliqué à des élèves essentiellement laborieux, il a pour objectif de constituer une transition entre la discipline militaire de l'École polytechnique et l'émancipation complète qui attend le jeune ingénieur livré à l'unique stimulant du devoir et de la responsabilité.

Les élèves ne sont pas casernés; ils logent en ville et y prennent leurs repas. Ils sont tenus, sauf certaines exceptions tolérées, d'être présents à l'École de 8h 3/4 à 10h 1/2 du matin et de 11h 3/4 à 5 heures du soir. L'Ecole leur est ouverte d'ailleurs tous les jours de 8 heures du matin à 10 heures du soir, à l'exception des dimanches et jours fériés, où elle n'est facultativement à leur disposition que de 10 heures du matin à 5 heures du soir.

Les élèves sont divisés en trois classes, qui correspondent chacune à une promotion de l'École polytechnique.

Appointements. — Ils reçoivent, sans distinction de classe, un traitement de 1,800 francs par an, sauf déduction de la retenue pour la caisse des retraites. Une indemnité de campagne de 200 francs et des frais de voyage s'ajoutent, pour les missions, au traitement normal.

Les élèves ayant complété le cours de leurs études dans les conditions fixées par le règlement sont nommés ingénieurs ordinaires de 3e classe au traitement de 2,500 francs, et envoyés en résidence fixe dans les départements.

Direction, inspection et conseils de l'École [1]. — L'Ecole

[1] Liste des autorités qui ont successivement dirigé l'Ecole depuis sa fondation.

PÉRIODE.	DIRECTEURS.	PÉRIODE.	INSPECTEURS.
1749 à 1794.	MM. Perronet.	1782 à 1788.	MM. Chezy.
		1788 à 1810.	Lesage.
1794 à 1797.	Lamblardie.	1811 à 1815.	Gayant.
		1815 à 1821.	Bérigny.
1797 à 1798.	Chezy.	1821 à 1828.	Brisson.
		1828 à 1830.	Vauvillier.
1798 à 1839.	Prony.	1830 à 1835.	Minard.
		1835 à 1836.	Kermaingants.
1839 à 1842.	Tarbé de Vauxclairs.	1836 à 1839.	Defontaine.
		1839.	Bernard.
1842 à 1855.	Cavenne.	1839 à 1841.	Guillebon.
		1841 à 1851.	Bommart.
		1851 à 1864.	Cavalier.
1855 à 1867.	Avril.		
1867 à 1869.	Onfroy de Bréville.	1864	Emmery.
1869	Reynaud.		

est dirigée par un inspecteur général des ponts et chaussées de 1re classe, qui prend le titre de directeur de l'École.

Un ingénieur en chef ou un inspecteur général de 2e classe est chargé, sous son autorité, de la direction des études. Il a le titre d'inspecteur de l'École.

Un conseil d'instruction, formé de ces deux fonctionnaires, de deux inspecteurs généraux de 1re classe et de la réunion de tous les professeurs, porte le nom de Conseil de l'École, et délibère sur toutes les questions qui concernent l'enseignement, l'appréciation du travail des élèves et les règlements intérieurs.

Enfin un conseil de perfectionnement, formé du directeur de l'École, de six inspecteurs généraux, de trois professeurs et de l'inspecteur de l'École, se réunit à la fin de chaque session pour arrêter, comme jury, la liste des prix et accessits à délivrer aux élèves, et pour discuter les mesures qui lui sont suggérées en vue d'améliorer l'instruction.

Session scolaire. Distribution de l'enseignement. — L'instruction donnée aux élèves, pendant les trois sessions, se compose :

De cours oraux faits par quinze professeurs;

De concours ou projets qui constituent l'œuvre propre de chaque élève;

Enfin, de conférences et d'exercices accessoires.

Études. — La première année, ou 3e classe, comprend six cours.

La deuxième et la troisième année n'en comptent chacune que cinq.

Il faut, en outre, ajouter pour chaque classe vingt leçons de langue vivante (anglais ou allemand) [1].

[1] Cours oraux.

INDICATION DES COURS.	NOMBRE DE LEÇONS.	NOMS DES PROFESSEURS.
1re ANNÉE OU 3e CLASSE.		
Mécanique appliquée (résistance)....	40	MM. Bresse, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées, suppléant.
Construction (routes).....	35	Baron, ingénieur en chef.
Hydraulique agricole.....	35	Mangon, ingénieur en chef.
Minéralogie et géologie.....	30	Bayle, ingénieur en chef des mines.
Économie politique.....	30	Joseph Garnier.
Procédés généraux de construction ...	12	Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Total.....	182	
2e ANNÉE OU 2e CLASSE.		
Mécanique appliquée (hydraulique)...	30	MM. Bresse, *d. n.* Collignon, *d. n.*
Construction (ponts).....	34	Morandière, inspecteur général des ponts et chaussées.
Construction (navigation intérieure)..	36	Malézieux, *d. n.*
Machines à vapeur.....	25	Jacqmin, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Architecture.....	16	de Dartein, ingénieur des ponts et chaussées.
Total.....	141	
3e ANNÉE OU 1re CLASSE.		
Chemins de fer.....	35	MM. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Construction (travaux maritimes)....	35	Chevallier, inspecteur général des ponts et chaussées.
Droit administratif.....	40	Aucoc, conseiller d'État.
Chimie appliquée.....	9	Durand-Claye, ingénieur des ponts et chaussées.
Fortification.....	16	Usquin, lieutenant-colonel du génie.
Total.....	135	
Nombre total de leçons.....	458	

Concours et projets. — Les élèves de première année ont à fournir, du 1er novembre au 9 avril, trois concours ou projets partagés en huit études; ceux de deuxième et de troisième année, cinq projets[1]. Ces travaux équivalent à un grand concours par mois, exigeant environ la moitié des heures de présence que les élèves doivent à l'École. L'autre moitié est absorbée par les leçons, les conférences et les autres exercices, tels que :

Les compositions de style administratif, à raison d'une par mois;

Les leçons hebdomadaires de croquis et de levés à vue;

Les manipulations chimiques, photographiques, télégraphiques;

Les opérations sur le terrain;

Les visites de travaux et d'ateliers, etc. etc.

[1] PROJETS.

1re année ou 3e classe.	
Architecture	Un concours divisé en trois études.
Mécanique	Un concours divisé en deux études.
Routes	Un concours divisé en trois études.
2e année ou 2e classe.	
Architecture	Un concours.
Mécanique	Un concours divisé en deux études.
Grand pont	Un concours.
Navigation intérieure	Un concours.
3e année ou 1re classe.	
Navigation intérieure	Un concours.
Hydraulique agricole	Un concours.
Architecture	Un concours.
Pont métallique	Un concours.
Travaux maritimes	Un concours.

Dans la plupart des projets, pour économiser avec le plus grand profit le temps consacré à l'élaboration des concours, on s'applique à alléger le travail graphique des élèves en substituant, autant que possible, à des dessins minutieusement rapportés, des croquis à l'échelle sur papier quadrillé, étudiés et cotés avec soin. Ce système laisse plus de temps à la rédaction des mémoires, et il place l'élève dans la situation vraie de l'ingénieur consacrant son travail personnel à la partie essentiellement intellectuelle de la conception d'un projet.

Conférences. — A ce qui fait le fond des cours normaux de l'École, s'ajoutent un certain nombre de conférences qui portent sur les connaissances suivantes :

Télégraphie électrique, — photographie, — exploitation des chemins de fer, — pisciculture.

Enfin, lorsque certains grands travaux, par leur importance, ou certains sujets, par leur spécialité, peuvent donner lieu à d'intéressantes communications, l'administration de l'École en fait l'objet de conférences accidentelles.

A ce titre les élèves ont été successivement initiés, dans ces dernières années, aux questions suivantes :

Percement du mont Cenis.

Canal maritime de Suez.

Assainissement des villes et utilisation des eaux d'égout.

Procédés de sauvetage des ouvriers surpris par les éboulements.

Instructions sur l'attaque et l'extinction des incendies.

Premiers soins à donner sur les chantiers aux ouvriers blessés, etc. etc.

Opérations sur le terrain. — Une description raisonnée des instruments, si claire et si détaillée qu'elle puisse être, ne saurait suffire à l'instruction des ingénieurs appelés souvent à diriger de grandes opérations de nivellement et de géodésie. C'est pourquoi le programme du cours de routes comprend un certain nombre d'opérations à exécuter sur le terrain. Ces travaux embrassent l'emploi de la chaîne, de l'équerre, du cercle géodésique, de la planchette, du niveau à lunette et à bulle d'air, et du tachéomètre.

Les élèves ont en même temps à étudier sur place un projet de route composé du tracé au niveau de pente, du levé au graphomètre, d'un profil en long au niveau à lunette, et de profils en travers au niveau d'eau et au niveau à bulle et pinnules.

Les opérations sont vérifiées sur le terrain même, et recommencées lorsque les erreurs dépassent la limite tolérée.

Il est juste d'ajouter que ces exercices, faits concurremment par un certain nombre de groupes, excitent vivement l'application des élèves, et qu'en peu de temps ils arrivent à les exécuter avec une rapidité et une précision très-satisfaisantes.

Visites et courses. — La session se termine d'ordinaire par des levés à vue et par diverses courses géologiques ou agronomiques; par la visite de travaux, d'ateliers ou d'établissements de première importance, tels que : barrages des environs de Paris; — ponts de la Seine; — égouts de la ville de Paris; — gares de chemins de fer; — puits artésiens en cours de forage; — atelier central des phares; — atelier d'expériences du Trocadéro; — grandes usines industrielles, etc. etc.

Examens partiels et généraux. — Les élèves passent chaque mois un examen partiel, et subissent, à la fin de la session, un examen général sur tous les cours permanents professés à l'École et sur les leçons de langues. Ces examens comptent pour une fraction déterminée dans le nombre de points attribués à chaque faculté.

Jugement public des concours. — De même, à la suite de chaque concours, pour stimuler l'émulation des élèves et pour leur faire tirer un enseignement profitable de leurs fautes mêmes, MM. les professeurs les réunissent en face des projets exposés, et, dans une sorte de jugement public, ils leur signalent les fautes commises et distribuent à chacun, sans blesser aucune susceptibilité, les observations élogieuses ou critiques.

Classement des promotions. — Le rang de passage d'une année à l'autre et le classement de sortie sont déterminés par ordre de mérite, en tenant compte à la fois de l'assiduité dont les élèves ont fait preuve, de la valeur des examens qu'ils ont subis, et de la capacité qu'ils ont montrée dans les compositions, les études de projets, les exercices pratiques, les travaux de mission, etc.

Le mérite de chaque élève dans les examens et dans les concours est évalué par l'attribution d'un nombre de points ou degrés. Le maximum des points varie pour chaque faculté suivant une échelle de notation proportionnée à l'importance de la matière dont il s'agit.

Aucun élève n'est déclaré admissible d'une classe à l'autre, ni, à plus forte raison, jugé hors concours à sa sortie, s'il

n'a satisfait à toutes les conditions du minimum voulu dans chaque partie, et du minimum général, dont les limites obligatoires sont posées par le conseil d'instruction.

Prix. — Des prix en ouvrages de science, d'une valeur atteignant 200 francs, sont en outre accordés, dans chaque faculté, aux concours et aux compositions jugés dignes de cette récompense, par un jury formé des membres du conseil de perfectionnement.

Mesures disciplinaires. — On pourrait, jusqu'à un certain point, passer sous silence ce qui regarde les peines disciplinaires dont le règlement arme les autorités de l'École.

L'expérience, en effet, démontre heureusement qu'il n'est pas besoin d'y recourir pour assurer l'ordre et la discipline, parmi une jeunesse d'élite, aux habitudes éminemment studieuses.

Quoi qu'il en soit, outre les réprimandes particulières dont les élèves peuvent être l'objet, les peines applicables, s'il en était besoin, sont :

L'exclusion temporaire de l'Ecole,

La mise à l'ordre de l'École,

La censure par le conseil, avec ou sans mise à l'ordre,

Le retard d'avancement de classe, et l'exclusion définitive.

Programme des cours. — Pour établir un ordre rationnel dans chaque enseignement et pour éviter tout double emploi entre les leçons des divers professeurs, on s'est attaché de tout temps à définir nettement le cadre des matières de chaque cours. Les progrès de la science, l'accroissement des leçons

qui a dû en être la conséquence, ont nécessité une révision toute récente de ces programmes. Leur rédaction délibérée en conseil d'instruction de l'École, et approuvée par décision ministérielle, est un répertoire des plus utiles, aussi bien pour les professeurs que pour les élèves[1].

Cours imprimés et feuilles lithographiées[2]. — Plusieurs des cours professés à l'École des ponts et chaussées ont été imprimés et édités en librairie; on en donne la nomenclature à la suite de cette notice.

Pour les autres cours, au sujet desquels il n'existe pas d'ouvrage imprimé correspondant, l'École distribue gratuitement aux élèves des feuilles lithographiées, donnant le résumé de chaque leçon. Tantôt ces feuilles sont dues à l'obligeance même du professeur, tantôt elles sont simplement rédigées par les élèves; mais, quelle que puisse être leur imperfection dans ce dernier cas, elles ont toujours l'avantage de conserver une physionomie fidèle du cours. Elles constituent, plus tard, pour les jeunes ingénieurs un résumé précieux propre à venir en aide à leurs souvenirs, indépendamment des notes que les élèves sont tenus de prendre à l'amphithéâtre, au fur et à mesure de la leçon.

Collection de dessins distribués aux élèves. — Deux collections lithographiques représentant un grand nombre d'ouvrages d'art, de machines, d'outils et d'instruments de

[1] Voir le cahier des programmes au nombre des documents exposés par l'École des ponts et chaussées.

[2] Voir la collection de ces ouvrages parmi les documents exposés par l'École des ponts et chaussées.

toute espèce, ont été successivement publiées en 1821 et 1825, et distribuées gratuitement aux élèves et aux ingénieurs.

Diverses circonstances, et particulièrement la création si précieuse des *Annales des ponts et chaussées*, interrompirent pendant quelques années cette publication.

Cependant les *Annales* ne pouvaient remplacer complétement, surtout pour les élèves, les collections lithographiques faites à plus large échelle et dans un plus grand format.

Une décision du 13 juillet 1853 a prescrit la continuation de ce portefeuille et sa distribution à tous les ingénieurs en activité.

On s'attache à reproduire, avec leurs détails d'exécution, les types nouveaux de machines, les ouvrages d'art les plus récents et les plus remarquables. On emprunte même, avec l'autorisation de leurs auteurs, des documents qui n'existent que dans des ouvrages trop rares ou trop chers pour être facilement à la portée de tous les ingénieurs.

Des légendes en forme de notices accompagnent cette collection. La publication est, autant que possible, annuelle; elle est arrivée aujourd'hui à la quatorzième livraison [1].

Missions en France et à l'étranger. — De la fin du mois de mai au mois d'octobre, les élèves ingénieurs sont envoyés en mission dans les départements et y sont attachés aux travaux en cours d'exécution, pour s'exercer à la pratique sous la direction des chefs de service.

[1] Voir, parmi les documents exposés par l'École des ponts et chaussées, le portefeuille intitulé : *Collection de dessins distribués aux élèves.*

L'objet de la mission est donc, avant toute chose, un enseignement pratique et un noviciat des fonctions de l'ingénieur. C'est pourquoi, parmi les instructions données aux élèves avant leur départ, il leur est particulièrement recommandé, tout en s'attachant à l'étude des difficiles problèmes de la construction, de se familiariser avec la comptabilité et avec les questions administratives.

Durant leur mission, les élèves sont tenus de rédiger un journal sur lequel ils consignent les renseignements qu'ils ont recueillis, les observations qu'ils ont faites et les opérations auxquelles ils ont pris part. Il leur est tenu compte, dans le classement, du mérite de ce journal, ainsi que du zèle qu'ils ont montré et des services qu'ils ont pu rendre.

A la fin de la troisième année, des missions à l'étranger, au nombre de deux ou trois, sont réservées aux élèves qui se sont le plus particulièrement distingués.

L'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique, la Hollande, la Haute-Italie sont annuellement l'objet de l'exploration des jeunes ingénieurs.

D'autres missions plus lointaines, en Amérique, à l'isthme de Suez, ont même été introduites accidentellement dans ces dernières années au programme ordinaire, et on a jugé parfois d'un haut intérêt d'y faire participer l'un des professeurs de l'École.

La collection des documents envoyés à l'Exposition de Vienne par l'École des ponts et chaussées contient trois spécimens importants du résultat de ces missions.

Ils sont représentés par les ouvrages suivants :

Étude sur l'architecture lombarde et sur les origines de l'architecture romano-byzantine, par M. F. de Dartein, ingénieur

des ponts et chaussées, professeur d'architecture à l'École polytechnique et à l'École des ponts et chaussées.

Travaux publics des États-Unis d'Amérique en 1870. Rapport de mission par M. Malézieux, ingénieur en chef, professeur à l'École des ponts et chaussées.

L'art de bâtir chez les Romains, par M. Choisy (A.), ingénieur des ponts et chaussées.

Élèves externes. — Outre les élèves ingénieurs destinés au service de l'État, l'École des ponts et chaussées, conformément au décret d'organisation du 13 octobre 1851, reçoit des élèves externes, français ou étrangers.

Un programme, fixé par arrêté ministériel, énumère avec détail les connaissances dont les candidats doivent justifier.

Les épreuves consistent en compositions écrites, en exécution de dessins et en examens oraux. Elles ont lieu chaque année, au 1er octobre, devant un jury composé de trois ingénieurs désignés par le Ministre.

Sur le vu du procès-verbal, constatant le résultat des diverses épreuves subies par les candidats, et d'après l'avis du conseil de l'École, le Ministre fixe la liste des élèves externes admis à suivre les cours et à participer aux travaux intérieurs de l'École.

Les élèves externes sont divisés en trois classes; ils concourent entre eux pour le classement; ils participent d'ailleurs, avec les ingénieurs de l'État, sans distinction aucune, à l'enseignement, aux examens et aux autres exercices de l'École. Leur instruction pendant les trois années est entièrement gratuite.

Les élèves externes peuvent obtenir, dans l'intervalle des sessions, l'autorisation de visiter les travaux qui s'exécutent sur les chantiers de l'État.

Ceux qui, à la fin de leurs études, ont satisfait à toutes les conditions réglementaires du classement, reçoivent du Ministre des travaux publics un diplôme constatant l'instruction qu'ils ont reçue.

Auditeurs libres autorisés à suivre les cours oraux de l'École. — Enfin, il est une dernière catégorie de personnes, que l'arrêté ministériel du 29 octobre 1855 admet à suivre les cours oraux de l'École, à titre d'auditeurs libres.

Il suffit, pour obtenir cette faveur, d'en faire la demande par écrit au directeur.

Les auditeurs doivent être rendus à l'amphithéâtre exactement à l'heure indiquée par les affiches, personne n'étant plus admis après la leçon commencée.

Services annexes se rattachant à l'École des ponts et chaussées. — Parallèlement à tout ce qui peut contribuer à l'instruction des élèves, l'École des ponts et chaussées compte un certain nombre de services annexes qui ont en même temps pour objet de venir en aide aux besoins scientifiques des ingénieurs.

Cet établissement fonctionne ainsi, comme un centre commun d'informations et de renseignements, auquel tout membre du corps des ponts et chaussées peut puiser librement.

Ces différents services sont au nombre de sept.

Bibliothèque. — L'École possède l'une des plus riches bibliothèques qui se puisse rencontrer comme réunion d'ouvrages se rapportant à la science de l'ingénieur.

Fondée dès le début par Perronet, qui lui légua ses livres et ses archives, et enrichie par de nombreux achats et par des legs successifs, elle ne compte pas moins de 40,000 volumes.

Avant 1871, l'École n'avait d'autre catalogue qu'un répertoire manuscrit rédigé par son bibliothécaire, M. Schwebelé. Le conseil de l'École a pensé qu'il y avait une incontestable utilité à faire connaître ces richesses scientifiques et à mettre les ingénieurs en mesure d'embrasser d'un seul coup d'œil la bibliographie presque complète de ce qui a été écrit sur chaque matière.

M. le Ministre, répondant à ce vœu, a autorisé l'impression d'un catalogue complet, rédigé suivant une classification méthodique et préparé sous la direction du directeur de l'École, par une commission composée de l'inspecteur et de professeurs[1]. Il a été décidé, en même temps, qu'un exemplaire serait mis gratuitement à la disposition de tous les ingénieurs en activité. L'avantage de cette publicité se complète encore d'une autre mesure non moins libérale : non-seulement les ingénieurs sont admis en tout temps et à toute heure à venir consulter, sans déplacement, les ouvrages et les manuscrits qui les intéressent; mais, dans l'intérêt même des ingénieurs qui résident hors de Paris, on autorise, sous certaines conditions, le prêt des livres dont ils font la demande.

[1] Voir le catalogue de la bibliothèque parmi les documents exposés.

Galerie des modèles. — Les hommes éminents qui ont présidé à l'organisation de l'École des ponts et chaussées ont compris, dès le début, l'utilité pratique de placer sous les yeux des élèves, comme exemples, quelques spécimens de machines et divers types des ouvrages les plus importants. Ces représentations, qui remontent à l'origine même de l'École, ont été continuées d'année en année avec persévérance et elles formaient déjà une intéressante collection, lorsque les Expositions universelles qui se sont succédé de 1855 à 1867 y ont ajouté le plus riche développement.

Les galeries de l'École renferment dès à présent plus de douze cents modèles ou dessins répartis dans les onze classifications suivantes, qui répondent, pour ainsi dire, à chacun des cours de construction, savoir :

Instruments de précision, outils et machines, — routes, — ponts, — chemins de fer, — navigation intérieure, — ports maritimes, — architecture, — travaux d'assainissement des villes, — travaux du génie agricole, — moteurs à vapeur, — appareils divers.

Beaucoup de ces modèles, par la finesse et la perfection de leur exécution, sont d'un grand prix et du plus haut intérêt.

Un catalogue général, contenant une notice spéciale pour chaque modèle, donne sa description sommaire, et, s'il s'agit de la reproduction d'un ouvrage d'art, il fait connaître ses principales dimensions, la date de son établissement, la dépense des travaux et le nom des ingénieurs et constructeurs qui y ont coopéré[1].

[1] Voir le catalogue des galeries, faisant partie des documents exposés par l'École des ponts et chaussées.

La rédaction de ce catalogue est due à M. l'ingénieur en chef Baron, particulièrement chargé de la conservation des galeries.

Laboratoire. — Il existe à l'École, depuis 1852, un laboratoire qui constitue une des branches les plus importantes de ses services annexes.

Ce laboratoire avait dans le principe, pour premier objet, de familiariser les élèves avec les manipulations et les analyses.

Les élèves, en effet, sont appelés, deux fois par an, à y exécuter, durant une semaine, des essais et analyses ayant rapport à la spécialité de leurs fonctions.

Le laboratoire a reçu en même temps pour destination de venir libéralement en aide, dans le même ordre d'idées, aux ingénieurs et même au public.

Un avis inséré au *Moniteur* du 3 juillet 1854, et plusieurs notes publiées à diverses reprises dans les *Annales des ponts et chaussées*, ont fait connaître son but et son fonctionnement entièrement gratuit.

Toutefois, pour prévenir tout double emploi avec le service parallèle de l'École des mines, le laboratoire de l'École des ponts et chaussées est exclusivement consacré à l'examen des calcaires, chaux, ciments, pouzzolanes, mortiers et autres matières qui peuvent être employées dans les constructions, et à l'étude, au point de vue pratique, des engrais, amendements, eaux de drainage ou d'irrigation, eaux potables, etc. etc., dont la nature intéresse à un si haut degré les agriculteurs et les ingénieurs des services hydrauliques.

Les particuliers, aussi bien que les ingénieurs, peuvent adresser au directeur de l'École des ponts et chaussées tous les échantillons qui les intéressent. Le résultat de l'examen des produits est transmis ensuite par l'administration de l'École à la personne qui a fait l'envoi.

Atelier expérimental de l'avenue d'Iéna. — On a souvent proclamé, dans le conseil de l'École, l'utilité d'adjoindre à l'enseignement scientifique un atelier d'expériences dans lequel les élèves pourraient recevoir, sur place, les notions usuelles sur les premiers éléments des constructions.

Ce vœu a été enfin réalisé par la construction récente de l'atelier expérimental de l'avenue d'Iéna. Chaque année les élèves de première année sont appelés à assister, durant plusieurs séances, à une série d'opérations et d'expériences pratiques telles que : forage à la sonde, battage de pieux, coupe et assemblage de charpente, essais et résistance des matériaux, taille de la pierre, cuisson et extinction de la chaux, fabrication des mortiers et du béton, emploi des ciments, fonte de métaux, travail du fer, scaphandre, machines d'épuisement, machines agricoles et de drainage, frein de Prony, etc. etc.

Ces essais préparent les élèves à aborder leur première mission avec un certain acquis pratique, et ils tendent à prendre dans l'enseignement une place que l'avenir rendra sans doute encore plus importante.

En outre, comme on l'a exposé déjà pour le laboratoire, cet atelier a un second objet : il est destiné à favoriser les progrès de la science des constructions, en donnant aux professeurs de l'École et aux autres ingénieurs des moyens

d'études et d'expériences que chacun d'eux chercherait inutilement à se procurer isolément [1].

On s'occupe en ce moment d'une série d'expériences sur le durcissement des mortiers et des ciments dans des températures et dans des milieux différents, et de recherches sur la préservation des matériaux de construction par des enduits de diverses natures.

La durée seule de ces essais, durée qu'il serait impossible d'obtenir ailleurs que dans un établissement public, leur donnera avec le temps un intérêt véritable.

Le laboratoire de l'École et l'atelier expérimental sont placés dans les attributions de M. l'ingénieur en chef Mangon (Hervé), membre de l'Institut, et de M. Durand-Claye (Léon), ingénieur des ponts et chaussées [2].

Atelier de photographie. — La photographie est devenue, dans ces derniers temps, un auxiliaire si précieux pour

[1] Le gaz et l'eau pénètrent dans toutes les parties de l'établissement.

Une locomobile et un moteur à gaz mettent, à volonté, en mouvement des machines diverses et prêtent leur force à l'exécution des expériences les plus variées.

Un réservoir en tôle, de 20 mètres cubes, placé à 12 mètres au-dessus du sol, alimenté par l'eau de la ville et entretenu à un niveau constant par une pompe rotative, permet d'exécuter toutes les expériences d'écoulement et de jaugeage.

Un bassin, de $5^{m},50$ de profondeur, est disposé pour mesurer l'effet utile des pompes d'épuisement, aspirant à diverses profondeurs, et pour essayer les scaphandres et autres engins de toute espèce avant de les envoyer aux ingénieurs.

[2] Voir, pour plus de détails, la notice particulière sur le laboratoire et l'atelier expérimental du nouveau dépôt, parmi les documents exposés par l'École des ponts et chaussées.

les ingénieurs qu'on a regardé comme nécessaire d'initier les élèves à la connaissance pratique des procédés les plus répandus.

A cet effet, indépendamment des conférences dans lesquelles on fait passer sous leurs yeux toute la série des opérations connues, on a constitué à leur usage un atelier dans lequel ils procèdent eux-mêmes aux manipulations les plus usuelles.

Il est reconnu, par l'expérience de plusieurs années, que quelques séances suffisent, sous l'influence d'une intelligente direction et sous l'émulation d'une sorte d'enseignement mutuel, pour atteindre un degré convenable d'habileté.

Mais l'atelier de photographie ne se borne pas à un simple rôle de démonstration scientifique.

On en a tiré parti pour la reproduction d'un grand nombre de dessins; pour la réduction ou l'amplification des plans suivant une échelle donnée; pour alléger enfin le bureau des dessinateurs d'un travail long et ingrat, et pour effectuer les copies nécessitées par les publications qui se font par les soins de l'École.

Entre les mains de M. le conducteur Huguenin, l'atelier de photographie rend chaque jour à l'École des ponts et chaussées les plus utiles services.

Dépôt des instruments de précision. — Le service, désigné habituellement sous le nom de Dépôt des instruments de précision, a pour objet d'entretenir en bon état tous les instruments dont les élèves ont besoin pour leurs opérations sur le terrain; et il a aussi pour mission plus laborieuse de centraliser à l'École des ponts et chaussées la commande, la

réception et la réparation de tous les instruments accordés, par décision ministérielle, aux ingénieurs de France et des colonies qui en adressent au Ministre la demande dûment justifiée.

Ces fournitures sont commandées aux meilleurs constructeurs, dans les conditions de prix les plus avantageuses et sous le contrôle, avant tout envoi, d'une minutieuse vérification.

D'autre part, le dépôt reçoit en magasin les instruments dont les ingénieurs n'ont plus besoin; il les fait remettre à neuf et les réexpédie, sur l'ordre de l'Administration centrale, aux services qui en sont dépourvus.

M. l'ingénieur en chef Baron, aidé de M. le conducteur Klein, préside à ces achats, à ces réparations et à ces essais.

Dépôt des machines. — Le dépôt des machines, dont la création a devancé celle du dépôt des instruments, répond à un besoin du même genre. Il a pour mission de commander, d'essayer, de recevoir et d'expédier les machines et les appareils dont l'achat est demandé par les ingénieurs et approuvé par le Ministre.

Il est également destiné à recevoir en magasin le matériel le plus précieux, tel que locomobiles, scies à receper, machines d'épuisement, etc., que beaucoup de chantiers laissent sans emploi, après l'exécution des grands travaux.

Ces engins, réparés et mis en état à Paris, restent ensuite à la disposition des ingénieurs qui en font la demande.

De même que, pour les instruments de précision dont il a été parlé dans l'article précédent, un inventaire général, résumant la totalité des inventaires tenus dans chaque ser-

vice, est centralisé à l'École des ponts et chaussées et permet à tout moment de se rendre compte de la situation, de la valeur et du lieu de dépôt de tout objet mobilier, instrument ou machine appartenant à l'État et distribué sur un point quelconque du territoire.

C'est encore à M. l'ingénieur en chef Mangon (Hervé), aidé de M. l'ingénieur Durand-Claye et de M. le conducteur Klein, qu'incombe le soin immédiat des opérations du dépôt.

Budget et dépenses. — Les crédits annuels affectés à l'École des ponts et chaussées et aux services qui s'y rattachent s'élèvent, en nombre rond, à 300,000 francs. Ce chiffre comprend les traitements ou indemnités des professeurs, les appointements des élèves et, en général, tous les frais de personnel et de matériel.

La plupart des ingénieurs attachés à l'enseignement de l'École ne reçoivent de ce chef que de légères indemnités, quand ils sont chargés en outre d'un service actif.

Le secrétaire de l'École, M. Panet, remplit les fonctions de régisseur pour la gestion de ces crédits et pour le payement des dépenses.

NOMENCLATURE DES COURS ET DOCUMENTS

PRÉSENTÉS

PAR L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE VIENNE.

I. — DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

Notice sur l'École nationale des ponts et chaussées. Paris, 1873, 1 broch. in-8°.

Décret du 13 octobre 1851, portant organisation du corps des ponts et chaussées. Paris, 1867, 1 broch. in-8°.

Décret du 13 octobre 1851, portant organisation de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1867, 1 broch. in-8°.

Règlement intérieur de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1867, 1 broch. in-8°.

École des ponts et chaussées. — Admission des élèves externes aux cours de l'École. — Décrets, arrêtés, décisions. — Programme des connaissances exigées pour l'admission. Paris, 1872, 1 broch. in-8°.

II. — ENSEIGNEMENT.

1° COURS.

Programme de l'enseignement intérieur de l'École des ponts et chaussées, arrêté par le Conseil de l'École et approuvé par le Ministre des travaux publics. Paris, 1867, 1 vol. in-4°.

Bresse. — Cours de mécanique appliquée, professé à l'École des ponts et chaussées :

1re partie. Résistance des matériaux. 2e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1866, 1 vol. in-8°.

2e partie. Hydraulique. 2e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1868, 1 vol. in-8°.

3e partie. Calcul des moments de flexion dans une poutre à plusieurs travées solidaires. Paris, Gauthier-Villars, 1865; texte, 1 vol. in-8°; atlas, 1 vol. in-folio.

Collignon (Édouard). — Cours de mécanique appliquée aux constructions :

1re partie. Résistance des matériaux. Paris, Dunod, 1869, 1 vol. in-8°.

2e partie. Hydraulique. Paris, Dunod, 1870, 1 vol. in-8°.

Bayle. — Cours de minéralogie et de géologie appliquées aux constructions. Paris, 1869-1873, 1 vol. in-4° lithographié (sous presse).

Garnier (Joseph). — Traité d'économie politique, sociale ou industrielle; exposé didactique des principes et des applications de cette science. 7e édition. Paris, Guillaumin, 1873, 1 vol. in-12.

Mangon (Hervé). — Traité de génie rural. Paris, Dunod, 1873, 5 vol. in-8° avec atlas (sous presse).

Mangon (Hervé). — Instructions pratiques sur le drainage, réunies par ordre du Ministre des travaux publics. 3e édition. Paris, Dunod, 1863, 1 vol. in-12.

Baron. — Notes prises par les élèves au cours de construction des routes. Paris, 1866-1869, 2 vol. in-4° lithographiés.

Morandière. — Notes prises par les élèves au cours de construction des ponts :

1re partie. Procédés généraux de construction. Paris, 1865-1866, 1 vol. in-4° lithographié.

2e partie. Cours de ponts proprement dit. Paris, 1866-1867, 2 vol. in-4° lithographiés.

Mary. — Notes prises par les élèves au cours de navigation intérieure. Paris, 1866, 1 vol. in-4° lithographié.

Mary. — Appendice au cours de navigation intérieure. Détails pratiques sur la distribution des eaux. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Jacqmin. — Des machines à vapeur. Leçons faites en 1869-1870 à

l'École des ponts et chaussées. Paris, Garnier, 1870; texte, 2 vol. in-8°; atlas, in-4° lithographié.

Bazaine. — Notes prises par les élèves au cours de chemins de fer. Paris, 1868-1873, 1 vol. in-4° lithographié (sous presse).

Jacqmin. — De l'exploitation des chemins de fer. Leçons faites en 1867 à l'École des ponts et chaussées. Paris, Garnier, 1868, 2 vol. in-8°.

Jacqmin. — Les chemins de fer pendant la guerre de 1870-1871. Leçons faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, Hachette, 1872, 1 vol. in-8°.

Chevallier. — Notes prises par les élèves au cours de travaux maritimes. Paris, 1871-1873, 1 vol. in-4° lithographié (sous presse).

Reynaud (Léonce). — Traité d'architecture :

1re partie. Art de bâtir. — Études sur les matériaux de construction et les éléments des édifices.

2e partie. Composition des édifices. — Études sur l'esthétique, l'histoire et les conditions actuelles des édifices. — 3e édition. Paris, Dunod, 1867-70; texte, 2 vol. in-4°; atlas, 2 vol. in-folio.

Aucoc (Léon). — Conférences sur l'administration et le droit administratif faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, Dunod, 1869-1870, 2 vol. in-8°. (Le tome III est sous presse.)

Mangon (Hervé). — Cours de chimie appliquée à l'essai et à la préparation des matériaux employés dans les constructions, et à l'analyse des produits agricoles. Paris, 1866, 1 vol. in-4° lithographié.

Durand-Claye (Léon). — Cours de chimie appliquée. — 2e partie. — Propriétés des matériaux employés dans les constructions. — Note sur les chaux et les mortiers. Paris, 1867, 1 vol. in-4° lithographié.

2° CONFÉRENCES.

Amiot. — Résumé des conférences sur la télégraphie électrique. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Robert. — Résumé des conférences sur les manipulations photographiques. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Coumes. — Résumé des conférences sur la pisciculture. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Tronquoy. — Instruction sur l'exécution des levés de machines, et la mise au net des dessins. Paris, 1868, 1 vol. in-4° lithographié.

Voisin-Bey. — Conférences sur le canal maritime de Suez, faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1872, 1 vol. in-4° lithographié.

Conte. — Conférences sur le tunnel des Alpes, faites à l'École des ponts et chaussées. Paris, 1864, 1 vol. in-4° lithographié.

3° DOCUMENTS DIVERS.

Mangon (Hervé). — Laboratoire et atelier expérimental du nouveau dépôt de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1871, 1 broch. in-8°.

Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des ponts et chaussées. Paris, 1857 à 1871; texte, 2 vol. in-4°; atlas, 2 vol. in-folio.

Catalogue des livres composant la bibliothèque de l'École des ponts et chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1872, 1 vol. in-8°.

Catalogue des modèles composant les galeries de l'École des ponts et chaussées. Paris, Imprimerie nationale, 1873, 1 vol. in-8°.

4° RAPPORTS PUBLIÉS PAR LES INGÉNIEURS ENVOYÉS EN MISSION HORS DE FRANCE.

Malézieux. — Travaux publics aux États-Unis d'Amérique en 1870. — Rapport de mission publié par ordre de M. le Ministre des travaux publics. Paris, Dunod, 1873; texte et atlas, 2 vol. in-4°.

Dartein (De). — Étude sur l'architecture lombarde et sur les origines de l'architecture romano-byzantine. Paris, Dunod, 1865 à 1873; texte, 1 vol. in-4°; atlas, 1 vol. in-folio.

Choisy. — L'art de bâtir chez les Romains. Paris, 1873, 1 vol. petit in-folio.

XLIII.

SOCIÉTÉ CENTRALE DE SAUVETAGE DES NAUFRAGÉS.

Trophée d'engins de sauvetage.

Organisation. — La Société de sauvetage des naufragés a pour point de départ une commission instituée en 1860 au Ministère des travaux publics, afin d'étudier les mesures nécessaires à l'établissement d'un service complet de sauvetage maritime sur le littoral de la France.

Après s'être rendu compte de l'état des sociétés créées dans quelques-uns de nos ports, des dispositions adoptées en Angleterre, des points de nos côtes où les sinistres maritimes sont le plus fréquents, et des conditions imposées à l'œuvre qu'il s'agissait de fonder, la commission arrêta un programme d'organisation, mais en émettant l'avis que c'était à une société privée et non au Gouvernement qu'il appartenait de le mettre à exécution. L'Administration publique devait se borner à donner son appui et des encouragements.

Vers la même époque, un peintre de marine justement célèbre, M. Gudin, qui n'avait pu être témoin de douloureux sinistres sans en être profondément ému, cherchait, avec quelques-uns de ses amis, comment on pourrait développer en France un système de sauvetage analogue à celui de l'Angleterre. Il y voyait une question du plus grand inté-

rèt, tant pour l'humanité que pour l'honneur du pays dont les côtes étaient restées trop longtemps inhospitalières.

Ainsi se trouvaient réunis les éléments de la société privée demandée par la commission; les statuts furent bien vite élaborés, et un décret du 17 novembre 1865 reconnut comme établissement d'utilité publique l'œuvre fondée sous le nom de Société centrale de sauvetage des naufragés.

La Société a pour président l'amiral Rigault de Genouilly; MM. les Ministres des finances, de la marine et des travaux publics en sont les présidents d'honneur.

Elle est administrée par un conseil composé de quarante membres, qui se renouvelle chaque année par cinquième.

Un comité formé de neuf membres, pris dans le sein du conseil, est chargé des détails de l'administration, et se réunit deux fois par mois. L'un des membres de ce comité, désigné par le conseil d'administration, porte le titre d'administrateur délégué. Il représente la Société, ordonnance les dépenses autorisées et assure l'exécution des mesures adoptées. Un inspecteur, pris dans le corps des officiers de marine, est chargé de l'installation des nouveaux postes de sauvetage et de la surveillance du service sur le littoral.

Un comité local est institué sur chacun des points où un canot de sauvetage est placé par la Société. Il dirige le service et correspond avec le comité central.

Le patron du canot reçoit une indemnité annuelle; les hommes de l'équipage touchent une allocation toutes les fois que le canot prend la mer soit pour un exercice, soit pour un sauvetage.

Ressources financières. — Les ressources financières de

la Société se composent du revenu d'un capital mis en réserve, de souscriptions annuelles, de dons volontaires et de subventions accordées par les chambres de commerce, les communes, les départements ou l'État.

Ses recettes, au 1er janvier 1873, s'élevaient à la somme de 1,274,416 fr. 94 cent. Le Ministère des travaux publics était en outre venu en aide à la Société, en faisant exécuter aux frais de l'État quarante et une maisons-abris pour canots de sauvetage, dont les dépenses de construction peuvent être évaluées à 400,000 francs environ.

Appareils de sauvetage. — Ces appareils sont de diverses natures; les principaux sont les canots de sauvetage et les porte-amarres. Nous parlerons d'abord des premiers.

Canots de sauvetage. — A la suite de nombreuses expériences faites sur divers types de canots de sauvetage par une commission d'officiers et d'ingénieurs de la marine, instituée dans le port de Cherbourg, il fut constaté que la préférence devait être accordée au modèle moyen adopté par la société établie en Angleterre sous le nom de *Royal national life boat institution.*

Cette embarcation armée par douze hommes, y compris le patron et le brigadier, est munie de coffres à air qui la rendent insubmersible; elle porte un double fond muni de soupapes, se vide instantanément quand une lame déferle à bord, se redresse tout de suite si elle chavire, et marche fort bien à la voile et à l'aviron. L'expérience a pleinement justifié le choix de la Société; ses bateaux inspirent aujourd'hui la plus grande confiance aux populations maritimes qui ont pu en constater la valeur.

Porte-amarres. — Il a été plus difficile de trouver un bon système de porte-amarres. Les appareils en usage dans divers pays, et notamment en Angleterre, étaient le mortier Manby et diverses espèces de fusées. Le mortier a l'inconvénient d'être lourd, d'être, par suite, d'un transport difficile sur plusieurs points du littoral, et de produire au moment du départ du projectile une tension brusque qui détermine souvent la rupture de la ligne. Les fusées sont dispendieuses, se détériorent facilement, et exigent un personnel exercé. Ces engins ont rendu toutefois de véritables services en plusieurs circonstances, et la Société française n'a pas renoncé à les admettre après les avoir convenablement améliorés. Mais elle a voulu quelque chose de plus pratique, susceptible d'être répandu sur tous les points de nos côtes, et elle s'est adressée à cet effet à M. le capitaine Delvigne dont le nom était attaché à d'importants travaux sur les armes de guerre. Le premier problème qu'elle lui posa fut celui de savoir s'il ne serait pas possible de tirer parti des mousquetons de la douane, pour lancer des flèches entraînant une légère ligne, afin de venir en aide aux navires échoués près du rivage. C'était aller au-devant des vœux de nos douaniers, hommes d'élite, souvent témoins de naufrages, et désespérés de ne pouvoir porter secours aux malheureux qui périssaient sous leurs yeux.

Tel fut le point de départ de l'invention, aussi simple qu'ingénieuse, qui est devenue la base du système de porte-amarres définitivement adopté et appliqué avec succès, depuis six ans, sur toute l'étendue de nos côtes.

Dans le but d'éviter le choc brusque du projectile à son départ contre la ligne qu'il doit entraîner, M. Delvigne

imagina d'attacher cette ligne à des boucles en cordages glissant à frottement tout le long de la flèche, depuis l'avant jusqu'à l'arrière, où elles sont arrêtées. L'inertie du cordage est graduellement surmontée par le frottement des boucles, et la rupture est évitée.

Les essais faits sous les yeux de la commission furent jugés satisfaisants, et l'on s'empressa de doter plusieurs postes des douanes de porte-amarres pouvant entraîner une ligne à 60 mètres environ de distance, avec une charge de trois grammes de poudre.

Des expériences faites à bord du vaisseau école des canonniers, *le Louis XIV,* ainsi qu'au camp de Châlons, ayant démontré les avantages du système, le Ministre de la marine voulut bien prêter à la Société de sauvetage cinquante pierriers en bronze du poids de 80 kilogrammes, et cent espingoles du poids de 20 kilogrammes.

Les premiers lancent à 300 mètres de distance, à la charge de 140 grammes de poudre, une flèche en fer du poids de 5 kilogrammes, en lui faisant entraîner une ligne de $5^{mm},5$ de diamètre; ou bien à 150 mètres, avec 50 grammes de poudre, une flèche flottante en bois du poids de 2 kilogrammes. L'espingole lance cette dernière flèche à la même distance, la charge étant la même.

Plus tard, l'Administration de la marine compléta ce concours par le prêt de cent fusils de rempart. Ces fusils portent à 100 mètres une ligne de $2^{mm},5$ de diamètre, avec une charge de 5 grammes de poudre, la flèche en bois étant du poids de 280 grammes.

Toutes les portées qui viennent d'être indiquées sont des moyennes déduites de nombreuses expériences et se rap-

portent à des temps calmes ou à de légères brises de travers. Elles augmentent ou diminuent dans une très-forte proportion, suivant la force et la direction du vent.

Mais ces pièces de l'artillerie de combat sont loin de présenter les dispositions les plus favorables au lancement des flèches porte-amarres. M. Delvigne proposa en conséquence de faire exécuter des pièces spéciales, par les motifs suivants :

1° Les flèches porte-amarres ne peuvent être lancées qu'avec des vitesses très-inférieures à celles qu'on donne aux projectiles de guerre, afin de ne pas faire rompre les lignes qu'elles doivent entraîner; de là l'inutilité de pièces à âme longue;

2° A défaut de vitesse, une portée assez grande ne peut être obtenue que par le poids de la flèche, d'où résulte la nécessité d'une charge relativement forte et d'une grande résistance de l'arme;

3° Le grand allongement de la flèche permettant d'avoir beaucoup de poids avec un petit calibre, et la longueur d'âme devant être réduite, on peut augmenter l'épaisseur du métal sans dépasser le poids de la pièce de guerre.

C'est d'après ces considérations que se trouve établi le petit canon en acier sur affût comme terme de comparaison, sous le rapport de la portée à en obtenir, avec l'espingole de même poids.

Le fusil-canon, création nouvelle de M. Delvigne, peut se tirer à l'épaule, à la charge de 10 grammes; à double charge, quand on trouve un appui pour le croc dont l'extrémité du canon est armée; à triple et quadruple charge, quand le canon est placé sur son petit affût en bois.

Les épreuves auxquelles ce fusil-canon a été soumis ont établi qu'à charge simple il envoie à 130 mètres une flèche en bois du poids de 400 grammes, entraînant une ligne de 2^{mm}, 5 de diamètre.

Quand la ligne lancée par un de ces appareils a été saisie par les naufragés, ils s'en servent pour amener à bord un cartahu double qui y est attaché, et ils amarrent la poulie dans la mâture. Les sauveteurs envoient au navire, au moyen de cet appareil, une aussière que l'équipage attache au-dessus de la poulie du cartahu, puis une bouée circulaire garnie d'un sac en toile destiné à amener successivement à terre tous les naufragés. Tel est le système complet de va-et-vient de sauvetage.

D'autres appareils ne portant pas les secours à aussi grande distance, mais fort précieux en plusieurs occasions, sont employés par la Société de sauvetage. Ce sont :

Les *ceintures de sauvetage*. — Divers systèmes de ceintures ont été expérimentés par la Société de sauvetage; elle a donné la préférence à celui qui a été inventé par le capitaine Ward. Cet appareil se compose de larges plaques de liége cousues sur une bande en toile; il est simple, solide, ne gêne pas les mouvements de l'homme et peut être livré au prix de 6^{f} 50. Il est très-répandu sur le littoral; tous les canots de sauvetage, toutes les embarcations du service des phares et un grand nombre de bateaux de pêche en sont munis.

Les *lignes Torrés*. — Cet appareil imaginé par M. Torrés, du Havre, rend journellement de grands services dans nos ports, et devrait être placé à bord de tous les navires. Il consiste en une corde de 6 à 8 mètres de longueur, qui

porte à l'une de ses extrémités une petite bouée en liége, et que font flotter des cabillots en bois distribués sur sa longueur. Un homme tombe-t-il d'un quai, ce qui n'est pas rare, on lui jette immédiatement la ligne, et il s'y accroche en saisissant la bouée ou l'un des cabillots. Il peut même enrouler cette ligne autour de son corps et en faire une ceinture de sauvetage.

Les *bâtons plombés.* — Ils servent à lancer une ligne à bord d'une embarcation en détresse à l'entrée d'un port.

Établissements créés. — La Société a constitué 44 stations de canots de sauvetage, et 218 stations de postes de secours, lesquels sont confiés aux préposés des douanes et sont munis d'appareils porte-amarres, ceintures et autres engins de sauvetage. Vingt-deux phares isolés en mer ont été pourvus par ses soins de fusils de rempart avec flèches en bois.

La Société publie, sous le titre d'*Annales du sauvetage maritime*, un journal qui rend compte de ses opérations ainsi que de toutes les inventions et de tous les événements relatifs à l'objet de sa mission.

Résultats obtenus. — Depuis l'époque où elle s'est constituée jusqu'au 1er avril 1873, la Société a arraché 1,026 naufragés à la mort, est venue au secours de 253 bâtiments en détresse, et en a sauvé 59.

Elle a décerné, pour tous ces sauvetages, de nombreuses gratifications et les distinctions honorifiques suivantes :

7 médailles d'or,

49 médailles d'argent,

143 médailles de bronze,

211 diplômes.

Sur la proposition du comité d'administration, cinq patrons de bateaux de sauvetage ont été décorés de la Légion d'honneur.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, la Société est placée sous la présidence de M. l'amiral Rigault de Genouilly. M. Dumoustier de Frédilly, directeur du commerce intérieur, est le délégué du conseil d'administration. M. Ragiot, lieutenant de vaisseau, est inspecteur de la Société. M. Doré, ancien lieutenant de vaisseau, est délégué du comité pour la direction des bureaux et l'exécution des mesures adoptées.

DEUXIÈME SECTION.

MINES.

XLIV.

CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRANCE

EXÉCUTÉE

SUR LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE L'ÉTAT-MAJOR

PAR LE SERVICE GÉOLOGIQUE DES MINES.

IMPRIMERIE NATIONALE.

HISTORIQUE ET DÉFINITION DU TRAVAIL. — MODE DE PUBLICATION[1].

Un premier essai de Carte géologique détaillée de la France, exécuté à l'échelle du 80 000me sur des reports de la carte de l'état-major, et comprenant vingt feuilles des cinq bandes nord de cette carte, a été présenté à l'Exposition universelle de 1855 par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, membres de l'Institut, inspecteurs généraux des mines, auteurs de la Carte géologique générale, à l'échelle du 500 000me, qui ont pris l'initiative de cet essai et ont tiré parti, pour le réaliser, des cartes géologiques départemen-

[1] Extrait de la feuille d'avertissement qui porte le tableau d'assemblage.

tales déjà publiées et des autres documents dès lors existants. La Carte géologique générale entreprise en 1822, d'après le projet et sous la direction de M. Brochant de Villiers, membre de l'Institut, inspecteur général et professeur de géologie à l'École des mines, avait été publiée en 1840.

Les tracés de la carte à l'échelle du 80 000me ont été repris, en vue de l'Exposition universelle de 1867, d'après un projet dressé par M. Élie de Beaumont, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, inspecteur général des mines, professeur de géologie à l'École des mines de Paris, et M. Béguyer de Chancourtois, ingénieur en chef des mines, professeur adjoint de géologie à la même École. Par décision de M. Béhic, ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 28 juillet 1865, prise sur la proposition de M. de Boureuille, conseiller d'État, inspecteur général des mines, secrétaire général du ministère, un service provisoire a été organisé pour préparer les feuilles destinées à l'Exposition; le personnel de ce service, placé sous la direction de M. Élie de Beaumont, était composé, avec M. B. de Chancourtois, de MM. Edmond Fuchs, A. Potier et A. de Lapparent, ingénieurs ordinaires des mines, qui conservaient toutefois les autres fonctions dont ils étaient antérieurement chargés; de M. A. Guyerdet, attaché à l'École des mines, pour les collections géologiques, et de M. J. Jedlinski, garde-mines principal, chargé des travaux graphiques de la Carte géologique générale. Les feuilles préparées, au nombre de soixante-deux, formant le quart nord-est de la France, ont été exposées en minute avec les premiers résultats du mode de publication par procédés typographiques, essayé à l'Imprimerie impériale.

L'exécution de la Carte géologique détaillée, pour la France entière, et sa publication, ont été ordonnées par décret impérial du 1er octobre 1868, rendu sur la proposition de M. de Forcade la Roquette, ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Le personnel du service géologique des mines, chargé d'entreprendre ce travail, à titre définitif, a été composé de MM. Élie de Beaumont, inspecteur général, directeur; B. de Chancourtois, ingénieur en chef, sous-directeur; Edmond Fuchs, A. Potier, A. de Lapparent, H. Douvillé, F. Clérault, ingénieurs ordinaires, chargés des explorations, tracés, etc.; A. Guyerdet, conservateur des collections; J. Jedlinski, garde-mines principal, chargé des travaux graphiques.

Les opérations commencées par ce personnel ont pour objet principal la publication des Feuilles de la Carte géologique à l'échelle du 80 000me, accompagnées de Notices explicatives.

On a pris pour point de départ les tracés de la carte géologique générale à l'échelle du 500 000me, et ceux des cartes géologiques ou agronomiques départementales, et des autres cartes locales déjà publiées. Mais, en raison des progrès de la géologie, on n'a pu se dispenser de faire à nouveau, sur la plupart des points, l'exploration détaillée du terrain.

Pour établir un système géologique uniforme susceptible d'être appliqué aux différentes feuilles, on a dû exécuter d'abord en commun les relevés et les tracés; les premières feuilles sont en conséquence présentées à titre de travail collectif. Toutefois, on a tenu à marquer, dès le début, l'adoption du principe de responsabilité personnelle nette-

ment posé dans la carte de l'état-major, et qu'il importe de faire également prévaloir dans la publication géologique. Les notices explicatives ont donc été rédigées, et signées en initiales, par les ingénieurs qui ont été finalement chargés de vérifier les tracés.

Afin d'augmenter la valeur pratique de la carte, et surtout en vue des applications agricoles, on a signalé d'une manière générale, par des notations conventionnelles, dans le champ d'affleurement de chaque formation colorié d'une même teinte, les variations locales de nature et d'allure que présente l'ensemble de cette formation; on s'est attaché de plus à préciser l'emplacement, la disposition et la nature des gîtes accidentels ou adventifs de matières spécialement utiles, ainsi que les rapports de gisement.

Les exploitations de matières minérales ou fossiles d'une utilité spéciale, et les ateliers d'extraction et de traitement immédiat de ces substances utiles, sont marqués autant que possible sur la carte.

Les cartes et les documents utilisés ou consultés sont mentionnés soigneusement, avec les noms des auteurs, dans les cadres des feuilles et dans les notices explicatives qui relatent aussi le concours apporté, soit par les services ordinaires des ponts et chaussées et des mines, soit par d'autres services publics ou par des particuliers, pour compléter le relevé statistique des établissements industriels.

Outre la série des feuilles à l'échelle du 80 000me, la publication comprend les Feuilles d'une Carte géologique réduite exécutée sur la carte de l'état-major, au 320 000me, dont chaque feuille résume 16 feuilles de la carte au 80 000me, et des Fragments géologiques exécutés sur les

fragments topographiques au 40 000me, au 20 000me, etc., que publie aussi le Dépôt de la guerre.

A chaque feuille se rattachent, à titre d'annexes, des Planches qui contiennent : 1° des Coupes longitudinales construites à des échelles diverses, depuis le 80 000me jusqu'au 1 000me, en tenant compte de la courbure de la terre, et dont quelques-unes se poursuivent sur plusieurs feuilles; 2° des Sections verticales raccordées au besoin, par superposition, qui donnent, à des échelles du 1 000me, du 500me, du 200me, du 100me, etc., le détail des successions de couches observées dans les coupes naturelles ou artificielles et dans les sondages; 3° des Perspectives photographiques, dont les cadres portent un ensemble d'indications destinées à montrer la liaison qui existe entre l'observation sur le terrain et les figurés conventionnels des cartes. Les planches, numérotées, dans chacune des trois séries, suivant l'ordre de leur publication, portent en outre les titres et les numéros des feuilles auxquelles elles se rapportent; la corrélation des divers documents annexes d'une même feuille est précisée par les textes qui accompagnent les planches aussi bien que les feuilles.

Enfin une Carte d'ensemble en deux feuilles est dressée pour servir de tableau d'assemblage géologique général. Cette carte est établie par projection gnomonique, dans un plan tangent au globe terrestre, dont le point de contact est situé sur le méridien de Paris, par 50^{g} ou 45° de latitude; elle est, en ce point, à l'échelle du 1 000 000me. La projection gnomonique, où les grands cercles sont représentés par des droites, a été adoptée en vue de l'étude des faits d'alignement. Un extrait correspondant à chacune des feuilles au

320 000me ou à 16 feuilles au 80 000me, figure, à titre de tableau d'assemblage partiel, sur la Feuille d'assemblage qui accompagne ces 16 feuilles réunies en cahier. La feuille d'assemblage porte en outre une rose de directions qui offre, rapportées à un point central, les orientations observées ou calculées des alignements géologiques utiles à considérer dans le champ des 16 feuilles.

Toutes les conventions adoptées dans les figurés des cartes et des coupes sont expliquées dans une Légende géologique générale et dans une Légende technique. Cette dernière présente la nomenclature des substances utiles établie d'après le système de la collection de Statistique minérale fondée à l'École des mines. La Légende géologique générale se compose de vingt-deux feuilles. Les trois premières donnent, sur le système de la carte, toutes les explications nécessaires. La quatrième comprend le tableau des notations lithologiques et celui des signes et des tracés stratigraphiques. Les deux séries de neuf feuilles qui viennent ensuite constituent le tableau de Chronologie géognostique, où les diverses formations sont rangées par ordre d'ancienneté. Pour y manifester la correspondance des différents types locaux d'une même formation, il a fallu diviser la France en compartiments géométriques, auxquels on a été conduit à donner la forme de secteurs rayonnant autour de points convenablement choisis et appuyés sur des circonscriptions naturelles. La première série correspond à la région occupée par les secteurs I à VIII sur le tableau d'assemblage, la seconde se rapporte aux deux régions occupées par les secteurs IX à XII et XIII à XVI; chacune des séries est d'ailleurs résumée dans un Sommaire en une seule feuille.

Les principaux fossiles sont figurés, par étage, en Séries paléontologiques, dans les planches de photographies établies avec le concours de M. Bayle, ingénieur en chef des mines, professeur de paléontologie à l'École des mines; de M. Bayan, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, attaché à la même École, et de M. Zeiller, ingénieur ordinaire des mines.

Indépendamment des notices explicatives, les ingénieurs du service rédigent des Mémoires ou des Notes sur les sujets particuliers étudiés dans leurs explorations, ou sur les questions générales qui doivent être résolues pour la coordination des résultats.

Le dessin de la carte d'assemblage en projection gnomonique est confié à M. Desmadryl et à M. Judenne, dessinateurs du Dépôt de la guerre. Les travaux photographiques, commencés par M. Richebourg, ont été confiés ensuite à M. Marville.

Les travaux de publication, dans lesquels on a recours aux procédés typographiques, lithographiques et photoglyptiques, sont exécutés à l'Imprimerie nationale, sous la direction de M. B. Hauréau, membre de l'Institut, par les soins de M. Derenémesnil, chef des travaux, secondé par M. Boullet, chef de l'atelier de lithographie, et par M. E. Pihan, chef d'atelier à la typographie.

Les relevés géologiques et statistiques étant journellement et indéfiniment perfectibles, l'exécution et la publication de la Carte géologique détaillée sont organisées de manière que chaque feuille ou planche puisse être mise au courant des résultats acquis à la date de chaque nouveau tirage. — Outre cette date de tirage, qui est mentionnée dans la partie typographique, chaque exemplaire de feuille

ou de planche reçoit en marge, à titre de bon à livrer, une estampille indiquant la date de la vérification exigée par les coloriages et les figurés qui ne comportent pas encore la reproduction mécanique. Dès que sont commencés les travaux de publication concernant une feuille de la carte au 80000me ou de la carte au 320000me, le numéro de cette feuille est encadré d'un rectangle rouge sur le tableau d'assemblage. Les chiffres des années des éditions successives sont ensuite poinçonnés, également en rouge, au-dessous du numéro encadré. Le TABLEAU D'ASSEMBLAGE GÉOGRAPHIQUE fait donc toujours connaître le degré d'avancement de la publication, pour la date estampillée en marge de l'AVERTISSEMENT.

Les divers ordres de documents qui viennent d'être énumérés ont été coordonnés de manière à constituer un système homogène, offrant un cadre à la fois assez vaste et assez précis pour qu'un fait géologique quelconque y trouve facilement sa place. En classant méthodiquement tous les termes employés dans les tableaux où les termes de même catégorie sont nettement définis, on s'est efforcé de combiner un langage et une écriture géologiques qui fussent susceptibles d'une application générale.

Pour harmoniser convenablement toutes les parties d'un ensemble aussi considérable, il a fallu procéder par approximations successives, en appliquant un premier projet à un certain nombre de feuilles, et en lui faisant subir tous les remaniements et les perfectionnements dont l'expérience démontrait l'opportunité. Malgré les retards que cette manière de procéder apportait au début de la publication, on n'a pas hésité à concentrer les efforts du service sur l'insti-

tution d'un système général indispensable pour mener à bonne fin une entreprise embrassant la France entière. Il est à remarquer d'ailleurs qu'on établit ainsi une base commune d'entente pour les études ultérieures de géologie et de statistique minérale, ou de géographie physique, qui seront l'objet d'entreprises particulières; l'adoption d'un tel système permettrait évidemment de faire progresser dans les meilleures conditions l'œuvre générale qui, par sa grandeur et sa portée, réclame le concours de tous.

Les feuilles de l'état-major ont 5 décimtres de hauteur sur 8 de longueur; leur champ pour la carte au 80000me est en conséquence de 40 kilomètres sur 64. Pour ramener ces feuilles à un format de poche, on les coupe, y compris les marges, en 3 bandes et 7 colonnes donnant 21 rectangles qui ont chacun $0^m,200$ (16 kilomètres) de hauteur sur $0^m,125$ (10 kilomètres) de largeur, soit au total $0^m,600$ sur $0^m,875$. — Les notices explicatives de la Carte géologique sont disposées en colonnes de $0^m,600$ sur $0^m,125$, de manière à pouvoir être appliquées, soit de part et d'autre de la carte en feuille, soit au verso de la carte entoilée. Chaque notice n'occupe pas ordinairement plus de 2 colonnes qui, juxtaposées latéralement, portent à $1^m,125$ la longueur de l'ensemble des 9 colonnes. Les mêmes dimensions de $0^m,600$ et de $1^m,125$ ont été adoptées pour les planches de coupes longitudinales et de sections verticales, dont les cadres offrent uniformément, à l'intérieur, une largeur de 5 décimètres, égale à la hauteur des cartes, et une longueur de 1 mètre, qui permet de développer horizontalement, dans une seule ligne, la coupe diagonale du territoire d'une feuille à l'échelle même de la topographie. Sur les

marges de toutes les feuilles et planches, on indique par des amorces les traits de coupure qui donnent la division en rectangles expliquée ci-dessus. — Les feuilles, entoilées et pliées, reçoivent comme étiquette un extrait du tableau de triangulation de l'état-major à l'échelle du 1 600 000me comprenant 9 feuilles de la carte au 80 000me. Ces étiquettes, imprimées en noir pour les cartes, en bleu pour les coupes longitudinales, et en rouge pour les sections verticales, sont jointes à la notice explicative mise en fascicule qui est fournie avec la feuille et les planches annexées.

Le siége du service de la Carte géologique détaillée de la France est établi à Paris, boulevard Saint-Michel, n° 62, dans le local attenant à l'École des mines, qui se trouve déjà affecté au service de la Carte géologique générale. Le service de la carte détaillée y constitue un bureau de renseignements géologiques à l'effet de livrer à l'industrie, sur les conditions de gisement des matières minérales, pour les régions déjà relevées, des déterminations correspondantes à celles que donne le bureau d'essais annexé à l'École des mines, sur la nature et la teneur de ces matières.

En attendant qu'un bâtiment spécial puisse être disposé pour les travaux, les exhibitions permanentes et les communications au public, les séries d'échantillons rapportés à l'appui des relevés géologiques sont conservés dans les locaux dépendants du musée de l'École des mines où prennent place également, dans la collection de statistique minérale, les spécimens de matières utiles recueillis par les explorateurs. La portion de la carte, exposée en 1867, est aussi conservée provisoirement dans la salle des cours du même établissement; elle forme une toile rectangulaire de

7 mètres de largeur et 5 mètres de hauteur. La carte totale au 80 000me, étendue au cadre de la carte au 320 000me, régularisé comme dans le tableau d'assemblage, exigera un carré de 16 mètres de côté.

Un arrêté de M. le Ministre des travaux publics fixera prochainement les prix de vente. Ces prix seront estampillés en marge de chaque document.

DOCUMENTS EXPOSÉS.

L'exposition comprend :

1° Un panneau central constitué par l'assemblage des douze feuilles qui composent la région parisienne (Rouen, Beauvais, Soissons, Évreux, Paris, Meaux, Chartres, Melun, Provins, Châteaudun, Fontainebleau, Sens);

2° Deux panneaux latéraux portant différents spécimens de feuilles et de planches :

Le panneau de gauche comprend un fragment de la carte des environs de Paris, à l'échelle du 40 000me; deux planches (I et V) de sections verticales; deux planches (I et III) de perspectives photographiques.

Le panneau de droite comprend : la feuille de titre, la feuille d'avertissement avec tableau d'assemblage géographique, une planche de coupes longitudinales et un spécimen de feuille de carte avec sa notice explicative.

Au-dessous des trois panneaux est exposée la coupe longitudinale, au 80 000me et au 10 000me, dirigée du nord au sud à travers la feuille de Paris. De part et d'autre de cette coupe figurent des planches de fossiles.

Dans une vitrine sont exposés des spécimens de cartes pliées et collées sur toile.

Enfin des portefeuilles, disposés de manière à pouvoir être consultés par le public, contiennent des spécimens de tous les divers ordres de documents en cours de publication.

XLV.

CARTE DES GISEMENTS DE PHOSPHATE DE CHAUX RECONNUS OU EXPLOITÉS EN FRANCE.

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{500\,000}$.

Depuis quelques années le phosphate de chaux minéral est, en France, l'objet de recherches très-actives que justifie son importance agricole toujours croissante. Déjà, en 1867, M. de Molon avait fait figurer à l'Exposition universelle de Paris une collection de nodules phosphatés, recueillis par lui dans le grès vert et représentant les gisements de trente-neuf départements. A cette époque, l'extraction n'avait lieu que dans les Ardennes, la Meuse et la Marne. Depuis, l'exploitation s'est développée dans le Pas-de-Calais, à la Perte-du-Rhône, près Bellegarde (Ain) et dans la Drôme. Plus récemment, un centre d'extraction très-important a été créé dans la partie des départements du Lot et de Tarn-et-Garonne qui correspond à l'ancienne province du Quercy : la phosphorite y a été découverte par M. Pommarède dans des conditions de gisement tout à fait nouvelles et inattendues; des gîtes analogues viennent d'être signalés dans l'Aveyron. Enfin, divers observateurs ont reconnu la présence, à plusieurs niveaux, dans l'étage de la craie supérieure et dans le terrain jurassique, de gisements phosphatés, jusqu'ici trop peu développés pour qu'il soit

avantageux de les exploiter, mais qui présentent cependant de l'intérêt, au point de vue de la distribution du phosphate de chaux dans l'écorce terrestre.

L'emploi de la phosphorite s'étant beaucoup généralisé en agriculture, il a paru convenable de mettre en évidence, sur une carte spéciale, les gisements de cette matière utile qui sont actuellement reconnus ou exploités sur le sol français. On a distingué par des teintes différentes :

1° Les gisements tertiaires.

Ce sont ceux du Quercy et de l'Aveyron, où la phosphorite remplit des poches ou des fentes dans le calcaire jurassique, et se présente à l'état concrétionné, comme un produit de sources minérales, associée à des ossements de mammifères qui permettent de placer son apparition à la même époque que le dépôt du gypse parisien et celui du terrain sidérolithique.

La phosphorite du Quercy, tout à fait semblable à celle du Nassau, est la plus riche de toutes. Elle contient jusqu'à 70 p. o/o de phosphate de chaux. On l'expédie généralement en Angleterre, où elle est transformée en superphosphate à l'aide de l'acide sulfurique. Cette transformation commence aujourd'hui à se faire également en France, à l'usine de Chauny, par les soins de la société de Saint-Gobain, devenue propriétaire de plusieurs des gisements du Quercy.

L'exploitation, qui est très-active, embrasse actuellement 21 communes du département du Lot, 10 de Tarn-et-Garonne et 4 de l'Aveyron. Malheureusement le peu d'étendue de ces gîtes laisse prévoir leur prochain épuisement.

On estime à 20,000 tonnes environ la quantité de phosphorite déjà extraite de ces trois départements.

2° Les gisements de la craie supérieure.

Ce sont ceux qui ont été signalés par M. Meugy dans le *tun* de la Flandre, à la base de la craie blanche et à divers niveaux de la craie des Ardennes; ceux que M. Guillier a signalés dans la craie de la Sarthe, au niveau de l'*ostrea auricularis;* enfin, ceux qu'on observe dans les Ardennes, à la base des marnes crayeuses, et où la phosphorite se présente souvent à l'état de coprolithes perfaitement nets. Ces derniers gîtes sont les seuls de cette catégorie qui aient donné lieu jusqu'ici à des exploitations (environs de Monthois).

3° Les gisements du grès vert.

Ce sont de beaucoup les plus abondants et les plus réguliers. Répandus dans la craie glauconieuse, mais généralement en trop faible quantité pour y être exploités, les nodules de phosphorite forment, au contraire, à la base du gault et dans le sable vert, des couches assez régulières, de 10 à 50 centimètres d'épaisseur, où abondent les moules de fossiles transformés en phosphate de chaux et de fer. On a indiqué sur la carte, par une teinte foncée, les gisements exploitables, et par une teinte claire, ceux où les nodules sont seulement disséminés.

L'exploitation de cette catégorie de gisements a atteint, en 1872, 40,000 tonnes dans la Meuse, et 23,000 tonnes dans les Ardennes, dont 13,000 pulvérisées sur place, et 10,000 exportées à l'état de nodules simplement débourbés pour être pulvérisés dans d'autres départements. La teneur

moyenne en phosphate de chaux varie aux environs de 40 à 50 o/o. Le prix de vente des nodules pulvérisés dans la Meuse est, en moyenne, de 29 francs par tonne : on compte environ une tonne et demie par mètre cube. Dans les Ardennes, le prix de la tonne est de 38 francs. On évalue son prix de revient à 31 francs.

Dans le Pas-de-Calais, où l'extraction a lieu sur toute la ceinture du bas Boulonnais, la teneur en phosphate de chaux varie entre 37 et 50 p. o/o; le prix de vente de la tonne pulvérisée est de 40 à 50 francs.

A la Perte-du-Rhône, les nodules bruts contiennent 50 p. o/o de phosphate et valent 48 francs la tonne : expédiés en Angleterre et transformés en superphosphates, ils coûtent alors de 125 à 150 francs la tonne.

Dans la Drôme, où les nodules du grès vert sont exploités à Clansayes et forment une couche atteignant 3 mètres d'épaisseur en certains points, on extrait par jour jusqu'à 7 tonnes de nodules contenant 35 p. o/o de phosphate. On les expédie à l'usine de Salindre, près d'Alais, où a lieu leur transformation en superphosphates.

L'acide phosphorique des nodules du grès vert passe pour être plus facilement assimilable que celui de la phosphorite du Quercy; aussi les nodules sont-ils souvent employés directement à l'amendement des terres à blé, après un simple broyage sous des meules.

Parmi les gisements de grès vert où les nodules existent d'une manière constante, mais, jusqu'à présent du moins, en trop faible proportion pour valoir les frais d'extraction, il convient de citer la craie glauconieuse et le gault de la Hève, le grès vert du pays de Bray, la glauconie de Trouville

et des vallées avoisinantes, le grès vert de l'Orne, celui de l'Yonne et de la Marne, etc.

4° Enfin, on a affecté une teinte spéciale aux gîtes de phosphorite qui ne rentrent dans aucune des catégories précédentes, comme ceux qui sont disséminés dans le terrain jurassique et dans les roches anciennes (apatite de Chanteloube). Peut-être de nouvelles recherches amèneront-elles, dans cette catégorie, la découverte de gîtes exploitables.

La carte a été dressée à l'aide des documents fournis par le musée de statistique minérale de l'École des mines, complétés par les indications de M. l'ingénieur en chef P. d'Ambly et de MM. les ingénieurs Lachat, Chosson et Nivoit. Le travail a été exécuté, sous la direction de M. Daubrée, inspecteur général, membre de l'Institut, directeur de l'École nationale des mines; par M. de Lapparent, ingénieur ordinaire, conservateur adjoint des collections de statistique départementale, avec le concours de M. Lejard, dessinateur.

XLVI.

CARTE AGRONOMIQUE

DE L'ARRONDISSEMENT DE VOUZIERS.

(DÉPARTEMENT DES ARDENNES.)

Une carte à l'échelle de $\frac{1}{40\,000}$.

Un volume de texte in-8°.

Le conseil général des Ardennes a décidé, dans sa session de 1866, qu'une carte agronomique du département serait dressée par les ingénieurs des mines employés dans ce département.

On s'est immédiatement mis à l'œuvre en commençant par l'arrondissement de Vouziers, le plus intéressant du département au point de vue agricole, et ce travail, terminé en 1870, serait publié depuis longtemps sans les tristes événements des dernières années.

Les résultats des explorations et des recherches de laboratoire sont consignés sur une carte et dans un volume de texte.

La carte est à l'échelle de $\frac{1}{40\,000}$. Elle a été obtenue par l'agrandissement de la carte au $\frac{1}{80\,000}$ de l'état-major.

En présence de la grande variété de terrains géologiques que présente l'arrondissement de Vouziers, et de l'influence

qu'exerce la nature du sous-sol sur la végétation, on a été conduit à prendre les grandes divisions géologiques comme bases de la classification des terres, à faire, en d'autres termes, une carte géologique agronomique. Voici quelles sont les divisions adoptées :

1° Alluvions modernes;

2° Limon ou argile sableuse des alluvions anciennes;

3° Gravier, sable, glaise des alluvions anciennes;

4° Terrains diluviens de diverses natures formés généralement sur place aux dépens de la roche sous-jacente (roches éboulées et remaniées, grève crayeuse);

5° Craie;

6° Marne crayeuse;

7° Sables argileux verdâtres;

8° Gaize;

9° Sables verts et argile du gault;

10° Groupe kimmeridgien;

11° Calcaire à astates;

12° Calcaires coralliens;

13° Groupe oxfordien.

Dans chacun de ces compartiments, la terre végétale change nécessairement de nature d'un point à l'autre, ainsi que le sous-sol; ces variations ne se font point cependant au hasard, et elles sont assujetties à certaines règles qui sont exposées dans le cours du texte. On s'est d'ailleurs efforcé de les indiquer sur la carte par des lettres et des points assez rapprochés pour qu'on puisse en tirer une idée générale sur la constitution agronomique d'une région déterminée, de même qu'à la simple inspection d'une carte topographique ne donnant les altitudes que d'un petit nombre de

points, un observateur exercé peut se représenter le relief d'une contrée.

On a en outre fait suivre chaque lettre d'un chiffre placé en indice, variant de 1 à 5, et destiné à indiquer le degré d'humidité de la terre ; 1 désigne les terres très-sèches, 5, les terres très-humides ou marécageuses, les autres chiffres, des degrés intermédiaires.

Le texte, intitulé *Statistique agronomique de l'arrondissement de Vouziers*, a pour but de compléter les indications de la carte et de contenir une foule de faits qui n'eussent pu y trouver place. Il comprend une introduction et six chapitres.

Le chapitre I, ou *Description physique*, donne des renseignements sur la situation et l'étendue de l'arrondissement, la constitution topographique du sol, l'hydrographie. Les eaux, qui ont une grande importance pour le cultivateur, sont examinées tant sous le rapport de leur distribution que sous celui de leur composition et de leurs usages.

Dans le chapitre II (*Description agronomique et minéralogique*), chaque terrain est décrit avec détail. On donne ses caractères topographiques, son étendue, sa répartition, sa constitution minéralogique, les matières utiles qu'il peut fournir, les caractères, la nature et la composition chimique des terres végétales qui le recouvrent, l'hydrographie souterraine.

Dans le chapitre III (*Culture*), on passe en revue les diverses cultures de l'arrondissement, en indiquant l'étendue qu'elles occupent, leur répartition sur les divers terrains, les sols qui leur conviennent le mieux, leur rendement, les engrais et amendements qui produisent sur elles les meilleurs effets.

Dans le chapitre IV (*Engrais et amendements*), on étudie celles de ces matières qui sont fournies dans l'arrondissement de Vouziers par l'agriculture elle-même, l'industrie et le sous-sol, telles que le fumier de ferme, les résidus d'usines, les phosphates de chaux, les marnes, les cendres, les calcaires, etc.

Le chapitre V (*Économie rurale*) contient un certain nombre de données qui se rattachent plus ou moins directement au sujet traité, et qui concernent la population dans ses rapports avec le sol, les divers modes d'exploitation de la terre, les propriétés bâties, les matériaux de construction, les voies de communication.

Dans le chapitre VI (*Statistique locale*), les cent vingt et une communes de l'arrondissement sont décrites avec détail. Ce chapitre constitue la partie pratique et celle qui sera consultée avec le plus de fruit par les cultivateurs.

On indique pour chaque commune :

1° La population ;

2° La distance au chef-lieu de département, au chef-lieu d'arrondissement, au chef-lieu de canton ;

3° Les écarts ;

4° Les voies de communication qui traversent le territoire de la commune ;

5° La superficie totale avec la classification en jardins et vergers, terres labourables, prés, vignes, bois, landes et terres vagues ;

6° Le relief du sol avec ses altitudes principales ;

7° La constitution géologique avec l'étendue occupée par les diverses espèces de terrains ;

8° Les carrières de matières utiles ;

9° Les terres végétales;

10° Les cultures;

11° L'hydrographie (nombre et débit des sources et des puits; profondeur de ces derniers);

12° L'industrie locale.

Ce travail a été exécuté par MM. Meugy, ingénieur en chef des mines, et M. Nivoit, ingénieur ordinaire des mines.

XLVII.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES.

NOMENCLATURE DES DOCUMENTS PRÉSENTÉS.

Prospectus de l'École nationale des mines de Paris : institution et but de l'École. 1 vol. in-4°.

Programmes d'admission aux cours préparatoires et aux cours spéciaux de l'École nationale des mines. 1 vol. in-4°.

Programmes détaillés des cours préparatoires et des cours spéciaux professés à l'École nationale des mines. 1 vol. in-8°.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE SECTION.

PONTS ET CHAUSSÉES.

I. — VOIES DE COMMUNICATION.

Pages.

I. Documents généraux sur les voies de communication de la France. 3
II. Viaduc du Duzon (Ardèche)..... 5
III. Nouvelle gare des voyageurs de Paris. (Compagnie des chemins de fer d'Orléans.)..... 9
IV. Charpente en fer de la remise circulaire de la gare de Montrouge (à Paris). Ligne de Paris à Sceaux, Orsay et Limours..... 17
V. Viaduc de la Bouble. Ligne de Commentry à Gannat. (Compagnie des chemins de fer d'Orléans.)..... 24
VI. Viaduc métallique de l'Osse, à piles tubulaires. Ligne d'Agen à Tarbes. (Compagnie des chemins de fer du Midi.)..... 37
VII. Rails en acier employés par les principales compagnies de chemins de fer français..... 41
VIII. Collection de types lithographiés du matériel fixe et du matériel roulant adoptés par les principales compagnies de chemins de fer français..... 59
IX. Endiguement de la Seine maritime. Carte hydrographique de la baie de Seine, de Quillebeuf à la mer, en 1872..... 60
X. Navigation entre Paris et Auxerre..... 67
XI. Réservoir de Panthier. (Canal de Bourgogne.)..... 100
XII. Machines pour l'alimentation du canal de l'Aisne à la Marne.... 107
XIII. Écluse de l'Aubois. (Canal latéral à la Loire.)..... 125
XIV. Barrage du Ban construit par la ville de Saint-Chamond pour le service de ses fontaines..... 131

2. — TRAVAUX MARITIMES.

Pages.

XV. Port du Havre. Bassin de la Citadelle..... 134
XVI. Caisson du batardeau du bassin de Brest..... 159
XVII. Bassin à flot du port de Bordeaux..... 178
XVIII. Port de Bayonne. Construction de jetées à claire-voie métalliques..... 207
XIX. Port de Saint-Jean-de-Luz..... 222
XX. Port de Marseille. Extension des bassins et instruments de radoub..... 234
XXI. Canal Saint-Louis..... 283
XXII. Atlas des ports de France..... 320

3. — PHARES.

XXIII. Carte des phares et état de l'éclairage et du balisage des côtes de France..... 322
XXIV. Phare des Roches-Douvres..... 329
XXV. Phare du Four (Finistère)..... 335
XXVI. Phare d'Ar-Men..... 342
XXVII. Phare de la Palmyre..... 353
XXVIII. Phare de Saint-Pierre de Royan..... 362
XXIX. Appareil lenticulaire de troisième ordre et appareil lenticulaire pour feux de direction..... 366
XXX. Tourelle et candélabre pour feux de port..... 370

4. — OBJETS DIVERS.

XXXI. Travaux d'amélioration de la Dombes..... 373
XXXII. Atlas statistique des cours d'eau, des irrigations et des moteurs hydrauliques..... 380
XXXIII. Construction d'un égout collecteur et de ses embranchements dans la ville de Bordeaux..... 383
XXXIV. Sonnette à vapeur du port de Gravelines..... 386
XXXV. Machine à mortier des ports de Dunkerque et de Gravelines. 394
XXXVI. Expériences sur la résistance des matériaux à l'écrasement.. 401
XXXVII. Appareil employé pour mesurer directement le travail du fer dans les différentes pièces d'une poutre à treillis..... 430
XXXVIII. Application de la dynamite au cassage des glaces..... 435
XXXIX. Disque automoteur. Système Moreau..... 443

Pages.
XL. Profils géologiques de Paris à l'Océan et aux Pyrénées..... 445
XLI. Collection de vues photographiques..... 449
XLII. École nationale des ponts et chaussées..... 450
—— Nomenclature des cours et documents de l'École des ponts et chaussées..... 478
XLIII. Société centrale de sauvetage des naufragés..... 482

DEUXIÈME SECTION.

MINES.

XLIV. Carte géologique détaillée de la France..... 491
XLV. Carte des gisements de phosphate de chaux reconnus ou exploités en France..... 503
XLVI. Carte agronomique de l'arrondissement de Vouziers (Ardennes). 508
XLVII. Documents sur l'École nationale des mines..... 513

3570-908

WD

HIM
7/96

#11561

OREGON
RULE
CO.
1
U.S.A.
2
3
4
5
REGON RULE CO
1
U.S.A.
2
3
4
5